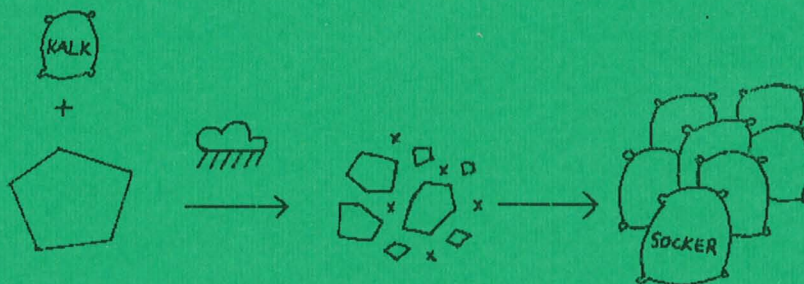


Biblioteket

Strukturkalkning på lerjordar

- effekter på markstruktur och sockerbetsskörd

Tobias Kindvall



Examensarbete

Handledare: Kerstin Berglund

Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydraulics

Avdelningsmeddelande 99:1
Communications

Uppsala 1999

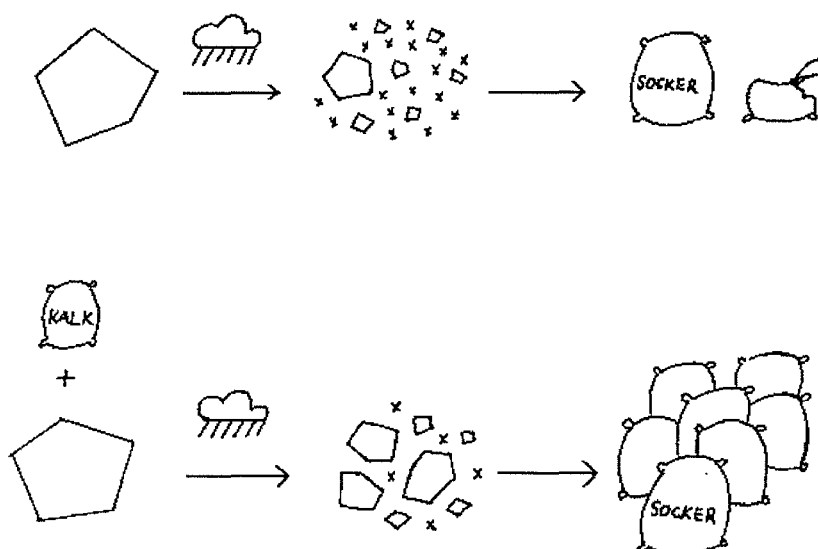
ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--99/1--SE

Strukturkalkning på lerjordar

- effekter på markstruktur och sockerbetsskörd

Tobias Kindvall



Examensarbete

Handledare: Kerstin Berglund

Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydraulics

Avdelningsmeddelande 99:1
Communications

Uppsala 1999

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--99/1--SE

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT	5
SAMMANFATTNING	6
INLEDNING	7
Bakgrund	7
Allmänt om markstruktur	7
Begreppet markstruktur.....	7
Strukturbildning.....	8
Kalkens inverkan på markstrukturen	11
Kalken och leret.....	11
Olika kalkningsmedel och deras effekt.....	12
Att mäta markstruktur	13
MATERIAL OCH METODER	15
Försöksplatserna	15
Behandlingar i fält	16
Fältarbete	17
Laboratoriearbete	18
Kemiska analyser.....	18
Aggregatstabilitet.....	18
Vattenhalt och glödningsförlust.....	20
Skörd	20
Statistik	21
RESULTAT	22
Fältundersökningen	22
Vattenhalter i fält.....	22
Aggregatstorleksfördelning i såbädden.....	23
Bearbetningsdjup och bearbetningsbottens jämnhet.....	25
Markmotstånd.....	26
Kemiska analyser	30
Aggregatstorleksfördelning efter de olika nedbrytningsstegen	32
Förändringar mellan de olika nedbrytningsstegen.....	33
Ädelholm.....	35
Emmylund.....	35
Trulstorp.....	36
Planagården.....	39
Alla fyra försöken.....	39
Aggregatstabilitet	40
Dispergerbart ler	42
Skörderesultat	43

Samband mellan skörd och stabila mikroaggregat.....	44
DISKUSSION.....	47
Analysmetoden.....	47
Våtsiktningen.....	47
Lerfraktionen.....	47
Försökens heterogenitet.....	49
Överensstämmelse med förväntade resultat.....	50
Slutsatser.....	51
LITTERATURFÖRTECKNING.....	52

BILAGOR

- Bilaga 1:** Markdata
- Bilaga 2:** Väderdata
- Bilaga 3:** Försöksplan

ABSTRACT

Soil structure can be defined as the arrangement of particles in soils. Size of particles, type of minerals and organic matter is of great importance for the development of soil structure and its stability. Soil structure can be stabilised by different kinds of binding agents that armour the bonds between particles and micro aggregates. Calcium (Ca) is a binding agent which can be added to the soil with lime and stabilises the aggregates by cat ion exchange processes, concrete reactions and formation of mortar. The purpose of this work is to examine how different forms of lime can affect the soil structure and aggregate stability and to measure the effect on yield.

The investigation included four field experiments with five treatments:

- a. no treatment
- b. slaked lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 3 t/ha
- c. limestone meal (CaCO_3), 4 t/ha
- d. "sugar factory lime" (mostly CaCO_3), 8 t/ha
- E. slaked lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 9 t/ha

The water content of the top soil, before spring operations, showed that slaked lime improved drying of the soil in the layer 0-10 cm, and the largest effect was obtained by the higher amount (9 t/ha). At the time of sowing, the seedbed was examined. Aggregate size distribution, tilling properties and water content were examined, but no significant differences between the treatments were found.

Aggregate stability was examined in the laboratory. The aggregates were subjected to an increasing intensity of disaggregation, both mechanically and chemically. In the two mechanical steps of degradation, mild and heavy, there were in some cases beneficial effects of lime on the aggregate stability. The amount of dispersible clay, that is the amount of clay detached from the aggregates, showed some decrease in limed plots. Furthermore, the percentage of stable micro aggregates (20-200 μm) increased in the surface layer. More stable soil aggregates will increase the ability of the soil to retain its structure under the action of e.g. water and heavy machinery.

The harvest of sugar beets in the field experiments showed a considerable increase in sugar yield in limed plots. In plots with large amounts of slaked lime the increase was 10% compared to the plots with no lime. The increase in sugar yield was between 2 and 5% in the other treatments.

There is no doubt that lime has influence on the soil structure or that liming can give rise to considerable increases in yield. Further investigation should concentrate on the liming effects in combination with early sowing. There are reasons to believe that the beneficial effects of liming on soil structure are greater at early sowing.

SAMMANFATTNING

Markstruktur kan definieras som det sätt, på vilket markens primärpartiklar är inbördes lagrade och förenade med varandra. Primärpartiklarnas storlek, mineral-sammansättning och det organiska materialet har stor betydelse för den struktur som uppkommer och för dess stabilitet. Olika ämnen kan förstärka bindningarna mellan partiklarna och mellan mikroaggregaten. Ett sådant ämne är kalcium (Ca), som kan tillföras med kalk och stabiliserar aggregaten via basutbytesprocesser, cementreaktioner och murbruksbildning. Detta examensarbete syftar till att undersöka vilken inverkan olika kalkningsmedel har på markens struktur och aggregatstabilitet, samt kalkens effekter på skörden.

Undersökningen omfattade fyra fältförsök med följande behandlingar:

- a. obehandlat
- b. släckt kalk, 3 ton/ha
- c. kalkstensmjöl, 4 ton/ha
- d. sockerbrukskalk, 8 ton/ha
- E. släckt kalk, 9 ton/ha

Bestämning av vattenhalterna i matjorden före sådd visade att släckt kalk, framför allt i stora givor, kan ge snabbare upptorkning på våren i markens ytskikt, 0-10 cm. Vid såtillfället utfördes en såbäddsundersökning, där aggregatstorleksfördelningen i fält, bearbetningens jämnhet och djup samt markvattenhalter bestämdes. Inga tydliga skillnader uppmättes mellan behandlingarna.

På laboratorium undersöktes aggregatens stabilitet genom att de utsattes för gradvis ökande mekanisk och kemisk nedbrytning. I de två första stegen som var mild respektive kraftig mekanisk behandling, hade kalken i vissa fall gynnsam effekt på aggregatstabiliteten. Mängden dispergerbart ler, d.v.s. mängden ler som frigjordes från aggregaten vid kraftig mekanisk nedbrytning, minskade något vid tillförsel av kalk. Andelen stabila mikroaggregat ökade i markens ytskikt vid tillförsel av släckt kalk. Stabilare aggregat ger bättre förutsättningar för marken att behålla sin goda struktur vid yttre påverkan, såsom kraftiga regnväder eller långvarig vattenmättnad.

Den större givan släckt kalk gav 10% högre sockerskörd jämfört med obehandlat. Övriga kalkningsmedel gav skördeökningar mellan 2 och 5 %.

Att kalken har inverkan på markens struktur och att kalkning kan leda till betydande skördeökningar råder det ingen tvekan om. Fortsatta undersökningar bör inriktas på att fånga upp kalkningens indirekta effekter på upptorkningen på våren och därmed möjligheterna att så tidigare. Det finns anledning att tro att kalkens gynnsamma effekter på markens struktur är mer påtaglig vid tidig sådd.

INLEDNING

Bakgrund och syfte

De senaste åren har den svenska sockerbetsodlingen haft en skördeutveckling med lägre skördeökningar än många andra länder i Europa. Dessutom är variationerna med årsmånen betydligt större i Norden jämfört med centrala och sydliga delar av Europa (Göransson & Sperlingsson, 1997). Detta har gjort att Sveriges Betodlares Centralförening (SBC) tillsammans med Danisco Sugar AB har utvecklat ett program, kallat 4T - Tillväxt Till Tio Ton. Det långsiktiga målet med programmet är att höja sockerskördarna bl.a. genom att förbättra markförhållandena och därmed sockerbetans förutsättningar för tillväxt och sockerproduktion. Program 4T startades 1997 med fyra huvudlinjer som utgångspunkt:

1. En dagslägesbeskrivning av variationerna i sockerskörd inom den svenska betodlingen.
2. En praktikstudie, där gårdspår med samma förutsättningar i jordart och klimat jämförs med avseende på ett antal markfysikaliska och markbiologiska parametrar, för att finna tillväxtbegränsande faktorer.
3. En succesiv kunskapsuppbyggnad runt tillväxtfrågan och en översikt över liknande satsningar i andra betodlande länder, med markens egenskaper som utgångspunkt.
4. En satsning på fältförsök inom områdena halmhantering, förfrukter, jordbearbetning, biologisk alvluckring och strukturkalkning.

Den sistnämnda punkten, strukturkalkning ligger till grund för detta examensarbete, vars syfte är att undersöka den effekt på markens struktur som kan åstadkommas med olika kalkningsmedel samt att analysera aggregatens uppbyggnad. Målet är att genom att koppla samman en fördjupad studie på laboratorium med praktiska fältförsök, öka förklaringsgraden kring de struktureffekter som kalkningen ger.

Undersökningen har genomförts med ekonomiskt stöd från Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning, Danisco Sugar AB och Partek Nordkalk AB.

Allmänt om markstruktur

Begreppet markstruktur

Markstruktur kan definieras som det sätt på vilket markens primärpartiklar är inbördes lagrade och förenade med varandra (Wiklander, 1976). Vilken struktur som uppkommer och dess stabilitet beror till stor del på markens kornstorleksfördelning och mineralsammansättning (jordart) samt innehållet av organiskt material (humus). Lerinnehållet är en viktig faktor i strukturbildningen p.g.a. lerets kolloidala egenskaper som gör att sammansatta partiklar, eller aggregat bildas. Aggregaten kan variera mycket i storlek och vara mer eller mindre stabila (Hillel, 1980). I en sandjord utan ler råder däremot enkelkornstruktur, och mineralpartiklarna är inte sammanfogade till aggregat. Annat kolloidmaterial, t.ex. humuspartiklar har liknande struktureffekt som

leret. Marklösningens saltkoncentration och vilka utbytbara baskatjonernas som dominerar är andra faktorer som har betydelse för strukturbildningen.

En mark med en ur växtodlingssynpunkt gynnsam struktur innehåller porer av varierande storlek och normalt sett består en mineraljord av 50 volymprocent fast material och 50 volymprocent porer. Porerna behövs för att lagra växttillgängligt vatten, transportera både vatten och luft och för att underlätta rottillväxten. För att uppfylla dessa krav bör en odlingsjord innehålla porer med en bred storleksfördelning eftersom varje typ av funktion hänger samman med en viss porstorlek (tab 1). Generellt kan man säga att växtlighetens krav är att 10% av jordvolymen bör vara porer större än 25 μm för att innehållet av markluft ska räcka, och den största delen av porvolymen bör ligga mellan 0,2 och 25 μm för att trygga lagringen av växttillgängligt vatten (Dexter, 1988).

Tabell 1. Samband mellan porstorlek, porernas funktion och partikelstorlek

Pordiameter (μm)	Funktion	Partikeldiameter (μm)
< 0,2	Bundet vatten, oåtkomligt för växten.	< 2
0,2 - 25	Lagring av växttillgängligt vatten.	2 - 250
25 - 100	Kapillär vattentransport, markluft.	250 - 1000
> 100	Markluft, snabb dränering, rottillväxt.	> 1000

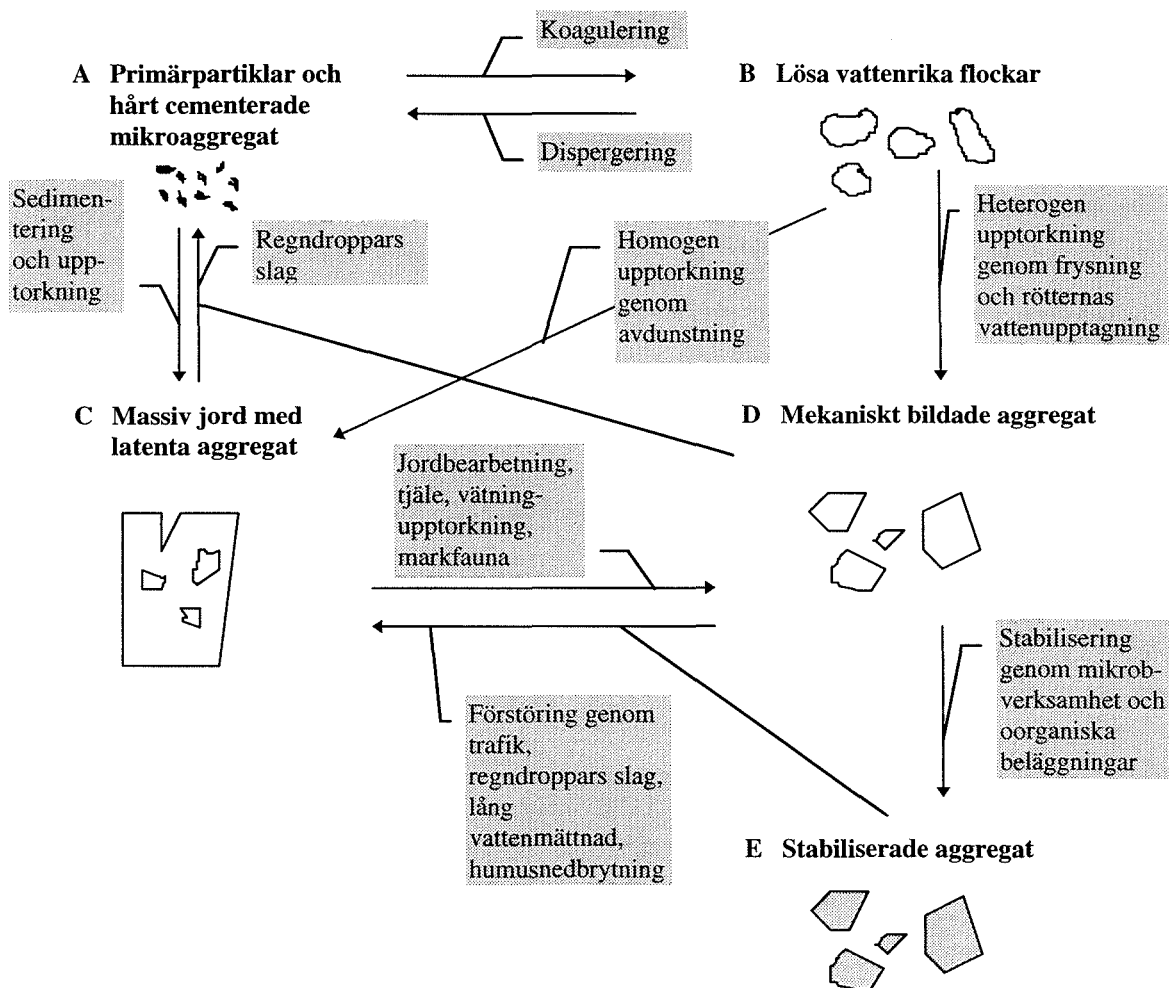
(Källa: Oades, 1984)

Vanligtvis delar man upp aggregaten i mikro- och makroaggregat, med gränsvärdet dem emellan vid 250 μm i diameter (Tisdall & Oades, 1982; Baldock m.fl. 1994). För att få optimal porstorleksfördelning bör majoriteten av makroaggregaten vara i storleksordningen 1-10 mm i diameter (Tisdall & Oades, 1982). Detta ger stora porer (>100 μm) mellan aggregaten som underlättar snabb infiltration och dränering av vatten samt växtrötternas tillväxt och syreförsörjning. Aggregaten i sig själva bör i sin tur innehålla porer (0,2-100 μm), dels för att aeroba mikromiljöer skall finnas och dels för att lagra växttillgängligt vatten.

Strukturbildning

Markstrukturens bildning är ett system av processer som är antingen förbättrande eller försämrande. Processerna påverkas i odlad jord av olika yttre faktorer såsom jordbearbetning, jordpackning, tjäle, vätning, upptorkning m.m. Heinonen (1985) har beskrivit detta system på ett överskådligt sätt och med den beskrivningen som grund följer här en översikt över markstrukturens bildning och nedbrytning (fig 1).

Koagulering (A→B). Det första steget i strukturbildningen är att primärpartiklar och hårt cementserade mikroaggregat koagulerar till lösa, vattenrika flockar. Denna process leder dock inte till att några aggregat bildas, eftersom lerpartiklarnas negativa laddning gör att de repulserar varandra och därmed inte kommer tillräckligt nära varandra för att bindas samman.



Figur 1. Strukturtillstånd och strukturbildande processer i odlad jord.
(Källa: Heinonen, 1985)

Upptorkning - krympning (B→C, B→D). Då jorden torkar upp bildas ett krympningstryck, d.v.s. det vatten som finns kvar och dess ytspänning gör att lerpartiklarna pressas samman så hårt att den elektriska laddningen "övervinns". Med andra ord överstigs den s.k. repulsionströskeln och lerpartiklarna attraherar istället varandra genom att utbytbara katjoner bildar bryggor dem emellan. Denna process kan ske som följd av växtrötters vattenupptag eller markens frysning och resultatet blir mekaniskt bildade aggregat.

Stabilisering (D→E). Att behålla en gynnsam markstruktur är viktigt inom jordbruket, för att ge grödorna optimala tillväxtförhållanden år efter år. I en lerjord är det därför fördelaktigt att ha stabila aggregat som är tåliga mot framför allt jordpackning och våta. En sådan stabilisering sker genom att olika ämnen i marklösningen förstärker bindningarna mellan lerpartiklar och mikroaggregat. Humusämnen, seskvioxider (järn- och aluminiumoxider) och karbonater kan åstadkomma betydande stabilisering av aggregaten genom att agera som bindemedel (Hillel, 1980). I en ostörd jord, t.ex. en naturlig gräsmark, är aggregatstabiliteten stor eftersom dessa bindningar har kunnat

bildas ostört under mycket lång tid. Samma effekt kan till viss del uppnås vid några års vallodling. Återkommande jordbearbetning gör emellertid att aggregatstabiliteten minskar och i en odlad jord beror strukturen mer på markens lerhalt och biologiska aktivitet än innehållet av aggregatförstärkande ämnen (Heinonen, 1985).

Markfaunan (t.ex. daggmaskar) och växtrötterna spelar en viktig roll, då de är strukturfrämjande i sig och dessutom stimulerar mikroorganismers aktivitet, vilka åtminstone på kort sikt ökar aggregatstabiliteten genom att producera slem- och andra bindeämnen (Tisdall & Oades, 1982). Mikroberna som sådana kan också ses som negativt laddade kolloider, liksom leret och humusen, p.g.a. sine negativt laddade yttre membran och därför bidrar de även till aggregatbildningen. Med andra ord är regelbunden tillförsel av organiskt material, t.ex. stallgödsel, fördelaktigt för både aggregatbildningen och -stabiliteten, eftersom det allmänt gynnar markfaunans och mikroorganismernas aktivitet, och därmed även markstrukturen.

Inom växtodlingen har försök gjorts att på konstgjord väg tillföra aggregaten olika bindande ämnen. Man har använt sig av bl.a. rostutfällningar och olika syntetiska organiska polymerer. Stora mängder av släckt kalk har visat sig ge karbonatutfällningar på porytorna. Få preparat har dock varit ekonomiskt försvarbara i förhållande till sin verkan (Heinonen, 1985).

Nedbrytning av aggregat ($D \rightarrow C$, $E \rightarrow C$). På odlad mark körs ofta tung trafik som ger upphov till packning och ältning av jorden. Det ger vid upptorkning en kompakt, mer eller mindre sprucken jord som inte är gynnsam för växtodling. Liknande struktur kan uppstå om jorden utsätts för en längre tids vattenmättnad eller ihållande regn, då jorden slammar igen. Makroaggregat bryts ned till mikroaggregat och från dessa kan lerpartiklar frigöras (dispergeras) (Oades, 1984). När jorden sedan torkar igen bildas en massiv struktur eller skorpa som kan bli mycket hård och svår att bryta. De svåraste problemen finns på lättleror och mjälajordar där tiden mellan sådd och uppkomst är mest kritisk.

Skorpbildning kan även uppstå när natrium tillförs marken i stora mängder. Detta eftersom Na^+ jonen har liten jondiameter, svag laddning och binder mycket vatten, vilket gör att jorden sväller och att aggregaten förstörs (Heinonen, 1985). Problemet är i Sverige mycket litet, utom möjligen i sockerbetsodlingen där Na-gödsling förekommer. Även mikroorganismernas nedbrytning av humus kan påverka markstrukturen negativt eftersom det organiska materialet har en betydande roll i att hålla samman aggregaten.

Återställning ($C \rightarrow D$). Om strukturen har försämrats som beskrivet ovan, vilket ofta sker i odlad jord som utsätts för tung trafik och oskyddat får ta emot regn, har en ny gröda svårt att etablera sig. För att återställa strukturen och skapa en bra såbädd med en gynnsam aggregatstorleksfördelning, krävs ett antal jordbearbetningar före sådd. Även naturliga processer kan återbilda förstörda aggregat och om så sker minskar behovet av jordbearbetning. Sådana processer kan vara upprepade vätnings-upptorkningscykler eller markens tjälning, och ger bäst effekt i styva lerjordar (Heinonen, 1975).

Kalkens inverkan på markstrukturen

Kalken och leret

Som tidigare nämnts kan kalk användas i syfte att förbättra markstrukturen i lerjordar. Detta görs i stor utsträckning inom bygg- och anläggningsbranschen för att stabilisera marken vid byggarbetsplatser och vägbyggnationer. Det ger både tidsvinster under arbetets gång och längre livslängd på den färdiga byggnaden eller vägen (Assarson, 1972). Strukturkalkning förekommer även i jordbrukssammanhang, där intresset ökar mer och mer bl.a. med tanke på de ökande problemen med markpackning orsakad av tung trafik över fälten.

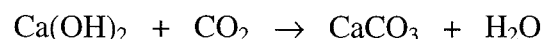
Kalkens effekter grundar sig i lerets, och framför allt finlerets uppbyggnad. Lerpartiklarna kan beskrivas som skivformade, med i huvudsak elektriskt negativa laddningar på ytan, utom på kanter och hörn där laddningen kan vara positiv. Lerpartiklarna attraherar således positiva metallkationer som koncentreras tätt omkring leret i det s.k. diffusa dubbelskiktet, som är ett svårdefinierbart skikt där kationerna har högre koncentration än anjonerna (Wiklander, 1976). Det diffusa dubbelskiktet är alltså övervägande positivt laddat.

Om det i marklösningen är hög koncentration av t.ex. Na^+ joner som har låg laddning och stark hydration, blir det diffusa dubbelskiktet tjockt eftersom Na^+ jonens attraktion till lerets negativa yta är relativt svag. Det medför att lerpartiklarna ligger parallellt orienterade och de kan lätt förskjutas i förhållande till varandra, vilket gör leran smetig (Berglund, 1971). Det vatten som finns i jorden verkar som smörjmedel.

När man tillför Ca^{2+} till marklösningen blir det diffusa dubbelskiktet tunnare. Ca^{2+} jonerna har i motsats till Na^+ , hög elektrisk laddning och svag hydration, vilket ger en stark attraktion till lerpartiklarnas yta och Ca^{2+} förtränger andra kationer genom jonutbytesprocesser. Detta leder till att lerpartiklarnas orientering i förhållande till varandra ändras till s.k. "kant mot plan"-orientering, eftersom de positivt laddade kanterna kan attraheras starkare genom det tunna diffusa dubbelskiktet. Vattnet stängs inne i håligheter eller porer som bildas och kan inte fungera som smörjmedel längre (Berglund, 1971). Leran verkar torrare och smetigheten försvinner, även om vattenhalten är densamma. Samtidigt ökar jordens volym till följd av lerpartiklarnas nya orientering. Denna reaktion går, vid tillförsel av släckt eller bränd kalk, mycket fort och är synbar för ögat efter bara några minuter.

Basutbytet och indirekt markens kationbyteskapacitet (CEC) är alltså viktigt vad gäller kalkens strukturuppbyggande funktion. Med andra ord borde struktureffekten vara störst i jordar med hög ler- och humushalt som ju medför hög CEC, vilket också har visats av bl.a. Berglund (1971) och Baldock m.fl. (1994).

Den strukturförbättring som basutbytet medför förstärks av andra långsammare reaktioner, cementreaktioner och murbruksbildning (Berglund 1971). Vid cementering förenar sig kalken med Al- och Si-föreningar och produkterna är starka bindemedel som bidrar till större och stabilare aggregat. Murbruksbildningen sker enligt reaktionen:



Koldioxid tas från markluften och mellan aggregaten bildas kalciumkarbonat. Resultatet blir liksom vid cementeringen större och stabilare aggregat eftersom karbonatet bildar bryggor dem emellan. För samtliga här beskrivna strukturförbättrande processer gäller att ju högre Ca-koncentration och ju högre pH marklösningen har, desto snabbare och effektivare sker förloppet (Berglund, 1971).

Olika kalkningsmedel och deras effekt

Vid kalkning för att förbättra markens struktur bör kalkningsmedlet innehålla en stor andel fri kalk, eftersom det är den som är verksam i ovan beskrivna processer. Som fri kalk räknas ren kalciumoxid, CaO eller kalciumoxid bundet till vatten, Ca(OH)₂. Motsatsen till fri kalk är kolsyrabunden kalk, CaCO₃ som inte alls är lika löslig som den fria kalken, vilket påverkar bl.a. basutbytet åtminstone vad gäller reaktionens snabbhet och effektivitet. Olika kalkningsmedel innehåller olika mängd fri kalk och vill man strukturkalka bör man bedöma kalkningsmedlen efter dess faktiska innehåll av fri kalk i stället för att räkna om kalciuminnehållet till motsvarande mängd CaO, som brukligt är vid kalkning av kemiska skäl (tab 2).

Tabell 2. Tre kalkningsmedels kemiska sammansättning med motsvarande CaO-innehåll samt andel fri kalk (CaO och Ca(OH)₂)

Kalkningsmedel	Kemisk beteckning	Motsvarande % CaO	% fri kalk
Kalkstensmjöl	CaCO ₃	50	0
Bränd kalk	CaO	50-95	40-95
Släckt kalk	Ca(OH) ₂	55-70	55-70

(Källa: Berglund, opubl.)

Bränd och släckt kalk ger snabb och märkbar struktureffekt, medan kalkstensmjöl vanligen inte ger någon struktureffekt alls (Berglund, 1971). Vissa undersökningar tyder dock på att även CaCO₃ kan ge en viss effekt på längre sikt, efter många upprepade vätnings-upptorkningscykler (Shanmuganathan & Oades, 1983). Skillnaden beror på att kalkstensmjöl inte innehåller någon fri kalk.

För en god strukturverkan bör kalkningsmedlet spridas på väl bearbetad jord och blandas in grundligt omedelbart efter spridning. Det är bara de ytor som pudras av kalken som påverkas, varför bearbetningen är viktig för att åstadkomma så stor påverkbar yta som möjligt (Berglund, pers. medd. 1998). Dessutom bör spridningen ske på en redan väl strukturerad jord, då kalken kan stabilisera en god struktur men i mycket mindre grad bygga upp en förstörd struktur.

Den allmänna uppfattningen är ofta att det krävs mycket stora givor för att uppnå struktureffekter med kalk, men Berglund (opubl.) menar att kalken ger effekt redan vid låga givor. Hans rekommendation är för en styv lera 5-10 ton CaO per ha. Ytterligare effekt kan man få om man tillför organiskt material i samband med kalkningen, t.ex. genom nedplöjning av skörderester. Detta beror dock snarare på att kalken hjälper det organiska materialet att ge större effekt än tvärtom. Kalkens pH-

höjande effekt ökar den biologiska aktiviteten och därmed omsättningen på det organiska materialet (Baldock m.fl. 1994).

Att mäta markstruktur

Begreppet markstruktur är ganska diffust och det kan vara svårt att definiera vad som är bra eller dålig struktur. Ännu svårare är det att beskriva vilken eller vilka faktorer som är avgörande för om strukturen i en viss jord är bra eller dålig. Genom att undersöka olika markfysiska parametrar kan man på olika sätt åskådliggöra markstrukturen.

För att beskriva strukturen är det vanligt att man i markvetenskapliga studier gör en texturanalys vilket ger en övergripande bild av markens uppbyggnad. Vid en sådan analys tas enligt standardiserade metoder emellertid det organiska materialet och CaCO_3 bort, för att man ska få fram primärpartiklarna. Eftersom det ofta är de sammansatta partiklarna (aggregaten) som har störst betydelse för hur jorden uppför sig i fält (vad gäller t.ex. hydraulisk konduktivitet, skorpbildning, erosionsbenägenhet och bearbetningsbarhet) är en vanlig texturanalys inte alltid användbar för att beskriva strukturen (Dexter, 1988). Det kan i stället vara bättre att utföra mekanisk analys utan att ta bort organiskt material och karbonater, för att få en bild av hur den verkliga kornstorleksfördelningen ser ut. Om man dessutom gör analysen både med och utan att ta bort de aggregerande ämnena kan man se hur stor del av lerpartiklarna som är bundna direkt till varandra i mikroaggregat.

Aggregatens stabilitet i vått tillstånd, eller vattenbeständighet är en viktig egenskap. Om denna stabilitet är hög ökar markens bärighet och lerans benägenhet att smeta vid packning och ältning minskar (Heinonen, 1985). Genom mekanisk och kemisk behandling av stigande intensitet som bryter ned aggregaten, kan man med hjälp av efterföljande mekanisk analys avgöra aggregatens stabilitet (Churchman & Tate, 1986).

Eftersom flockulering (motsatsen till dispergering) är grunden för all aggregatbildning, är det en viktig faktor när det gäller att bevara en god markstruktur. Att bestämma mängden ler som dispergerar vid en viss behandling borde därför vara ett bra mått på aggregatens och strukturens stabilitet. Ju mindre andel ler som dispergerar desto högre stabilitet. Den mängd ler som frigörs kallas för "dispersible clay", d.v.s. dispergerbart ler, och är ett vanligt använt mått på strukturstabilitet (Shanmuganathan & Oades, 1983; Oades, 1984; Baldock m.fl. 1994).

Även torrare jords stabilitet är viktig. För att förhindra jordpackning eller underlätta bearbetning är aggregatens torra hållfasthet eller sprödhet av betydelse. Dessa storheter kan mätas genom att bestämma den kraft som behövs för att krossa aggregaten. Testet är relativt enkelt och kan användas på aggregat av olika storlek och med oregelbunden form, även om metoden är begränsad till att användas på makroaggregat.

En ostörd jord är mer stabil än en störd och det gör att när man tar jordprover från fält till laboratorium försvagas generellt sett strukturen. Det kan därför vara bra att kunna mäta strukturen direkt i fält. Med hjälp av en penetrometer kan man mäta mark-

motståndet, d.v.s. det tryck som behövs för en stång att tränga ned i jorden. Trycket kan sägas motsvara det tryck som växrötterna behöver åstadkomma för att penetrera marken. Markmotståndet vid penetrometermätningar beror dock på en mängd olika faktorer, inte bara markfysiska, och kan därför vara svårtolkat (Dexter, 1988).

Såbäddens strukturegenskaper kan undersökas i fält genom en s.k. såbäddsundersökning (Kritz, 1983). Då bestäms bl.a. vattenhalter, aggregatstorleksfördelning, sådjup och såbottens jämnhet. Undersökningen ger en god bild av det sådda fröets groningsmiljö och möjlighet till etablering.

MATERIAL OCH METODER

Försöksplatserna

De fyra försöksplatser som har undersökts är Ädelholm, Emmylund, Trulstorp och Planagården. De tre förstnämnda är belägna i trakten mellan Lund och Malmö, medan Planagården ligger i Hasslarp, i närheten av Helsingborg. Ädelholm är Danisco Sugars försöksgård och övriga brukas av enskilda lantbrukare. Före försökens start, hösten 1997, gjordes linjekarteringar på samtliga försöksplatser för att analysera sedvanliga markdata (bilaga 1). Analyserna utfördes av Danisco Sugar AB och på samtliga platser var pH>7 och inget kalkbehov med avseende på pH och basmättnadsgrad fanns. Ädelholm och Emmylund bedömdes som lättleror och Trulstorp och Planagården som mellanleror. Vid den mekaniska analysen i detta försök framkom dock att lerhalterna överlag var högre än i den tidigare analysen. Ädelholm är fortfarande en lättlera, medan Emmylund snarare är en mellanlera. Trulstorp kan klassas som mellanlera, på gränsen till styv och Planagården som styv lera (tab 3).

Tabell 3. Försöksplatsernas lerhalter i % av torrsubstansen, block- och ledvis (Obeh= obehandlat led, Släckt=låg giva släckt kalk, Kmjöl=kalkstensmjöl, Sbk=sockerbrukskalk, 3 Släckt=Hög giva släckt kalk). Understrukna värden är försökens lägsta och kursiva värden är de högsta

Ädelholm	Obeh	Släckt	Kmjöl	Sbk	3 Släckt	Medel
Block I	26	26	25	25	25	25
Block II	24	24	24	23	25	24
Block III	<u>23</u>	24	23	25	24	24
Block IV	24	25	24	24	23	24
Medel	24	25	24	24	24	24
Emmylund						
Block I	31	30	30	31	32	31
Block II	34	31	34	30	29	32
Block III	28	32	29	26	32	29
Block IV	27	<u>24</u>	26	25	25	25
Medel	30	29	30	28	30	29
Trulstorp						
Block I	36	38	37	37	38	37
Block II	38	<u>34</u>	40	35	34	36
Block III	40	43	40	38	43	41
Block IV	42	46	42	45	45	44
Medel	39	40	40	39	40	40
Planagården						
Block I	50	51	51	50	51	51
Block II	47	45	45	46	49	46
Block III	41	<u>36</u>	45	45	39	41
Block IV	53	50	52	53	51	52
Medel	47	46	48	49	48	48

Skillnaderna i lerhalt mellan de olika försöksplatserna gör att det inte alltid är möjligt att slå samman resultaten från alla fyra platserna, utan att vissa fel uppstår till följd av jordartsskillnader. Även skillnaderna mellan försöksrutorna inom varje försök, är ibland mycket stora (tab 3). Största skillnaden vid Emmylund är 10 procentenheter, vid Trulstorp 12 och vid Planagården hela 17 procentenheter. Den stora ojämnheten i lerhalt ger en viss osäkerhet även inom varje försöksplats, då medelvärden beräknas, och kan ge missvisande resultat.

Resultat i fältförsök beror till stor del på årsmånen och det är angeläget att här beskriva densamma. Odlingssäsongen 1998 var mycket regnig och kall jämfört med normalåret (bilaga 2). Redan i april månad föll i Skåne upp till dubbelt så mycket nederbörd som normalt, vilket försenade betsådden flera veckor. Resten av växtsäsongen fortsatte med mycket regn. Både totala regnmängderna och antalet regndagar låg över normalvärdena. Medeltemperaturen var under senare delen av sommaren klart under den normala, i juli och augusti upp till 2°C lägre.

Behandlingar i fält

Varje försöksplats delades upp i fyra block (I-IV) och varje block i fem led, som finns beskrivna i tabell 4. Varje försöksruta delades upp i en skörderuta och en provtagningsyta. Jordproven till analyserna togs i provytan och har inte påverkat bestämmandet av skörden. De fem leden fördelades slumpvis inom varje block (bilaga 3) och behandlades med olika kalkningsmedel (tab 4). Kalkningsmedlens sammanställning framgår av tabell 5 och 6.

Försöken lades ut under hösten 1997, då kalkmedlen spreds manuellt och stubb-bearbetades eller plöjdes ned. På Ädelholm och Planagården höstharvades fälten och på Emmylund och Trulstorp utfördes harvningen endast på våren före sådd. I samtliga fyra försök såddes sockerbetor efter stråsäd. Sådden skedde mellan den 22 april (Ädelholm) och den 4 maj (Planagården) (tab 7).

Tabell 4. Försökens behandlingar och deras benämningar

Behandling	Led- benämning	Giva (ton/ha)	Motsvarande innehåll av CaO (%)	Motsvarande giva CaO (ton/ha)
Obehandlat	Obeh	-	-	-
Släckt kalk	Släckt	3	69,5	2,1
Kalkstensmjöl	Kmjöl	4	49,1	2,0
Sockerbrukskalk	Sbk	8	24,7	2,0
Släckt kalk	3 Släckt	9	69,5	6,3

Tabell 5. Respektive kalkningsmedels innehåll av Ca(OH)_2 och CaCO_3 samt syraneutraliserande verkan, beräknad som halten CaO

Innehåll	Släckt kalk	Kalkstensmjöl	Socketbrukskalk (ts 67 %)
Ca(OH)_2	91,8 %	-	0,8 %
CaCO_3	-	87,7 %	44,1 %
Motsv. innehåll av CaO	69,5 %	49,1 %	24,7 %

Tabell 6. Socketbrukskalkens innehåll av växtnäring

Näringsämne	% av torrsubstans	kg/ton (ts 67%)
N	0,6	4,0
P	0,7	4,7
K	<0,1	<0,7
Mg	1,1	7,4

Tabell 7. Sådatum

Försöksplats	Sådatum
Ädelholm	22 april
Emmylund	25 april
Trulstorp	2 maj
Planagården	4 maj

Fälthet

Vattenhalter. Vattenhalten bestämdes före vårbruket i skikten 0-10 cm och 10-20 cm, som ett mått på skillnader i upptorkning mellan olika led. Proven togs med jordbör, sex delprov per provtagningsyta, som blandades till ett generalprov. Proverna vägdes, torkades i 105°C och vägdes igen varefter vattenhalten beräknades.

Såbäddsundersökning. Vid såtillfället gjordes en såbäddsundersökning enligt Kritz (1983) där bearbetningsdjup, aggregatstorleksfördelning i två lager samt markytans och bearbetningsbottens jämnhet undersöktes. Dessutom bestämdes vattenhalten i såbädd och såbotten. En såbäddsundersökning per provtagningsyta genomfördes. För utförligare beskrivning av såbäddsundersökningen hänvisas till Kritz (1983).

Markmotstånd. Några dagar efter genomförd sådd mättes markmotståndet med penetrometer. Mätningarna utfördes på en linje mellan såraderna, där jorden var opåverkad av såmaskinens hjulspår och såbillar och såtraktorns hjulspår. 15 stick gjordes i varje skörderuta ner till 50 cm djup. Vid Emmylund genomfördes mätningar i alla fyra blocken och vid de övriga tre platserna endast i två block per försök.

Provtagning. För laboratoriearbetet togs jordprover i skiktet 0-10 cm med hjälp av en spade. Sex delprov från varje provtagningsyta blandades till ett generalprov (2-3 kg), lufttorkades och förvarades i papperspåsar tills analyserna genomfördes.

Laboratoriearbete

Kemiska analyser

pH. I samtliga prover mättes pH-värdet i vatten. En del jord och två delar vatten mättes upp i provrör. Proven skakades 1 timme och fick sedan stå i 1 timme. Därefter mättes pH i den klara vätskan. För varje prov gjordes två upprepningar.

Organiskt kol. Halten organiskt bundet kol bestämdes enligt en metod beskriven av Walkley & Black (1934) i samtliga prover. Metoden genomfördes så att det organiskt bundna kolet oxiderades med kaliumbikromat som oxidationsmedel, varefter överskottet av $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ joner bestämdes genom titrering. Halten organiskt bundet kol är ett mått på halten organiskt material i provet.

Totalkol och karbonatkol. Det totala kolinnehållet bestämdes med sedvanliga metoder (LECO) och utfördes av Avdelningen för växtnäring, Institutionen för markvetenskap, SLU. Genom att beräkna differensen mellan talkolet och det organiska kolet kunde halten karbonatkol bestämmas.

Övrigt. Katjonbyteskapacitet (CEC), basmättnadsgrad och utbytbara baskatjoner bestämdes innan försöket lades ut och motsvarar obehandlat led i försöket (bilaga 1).

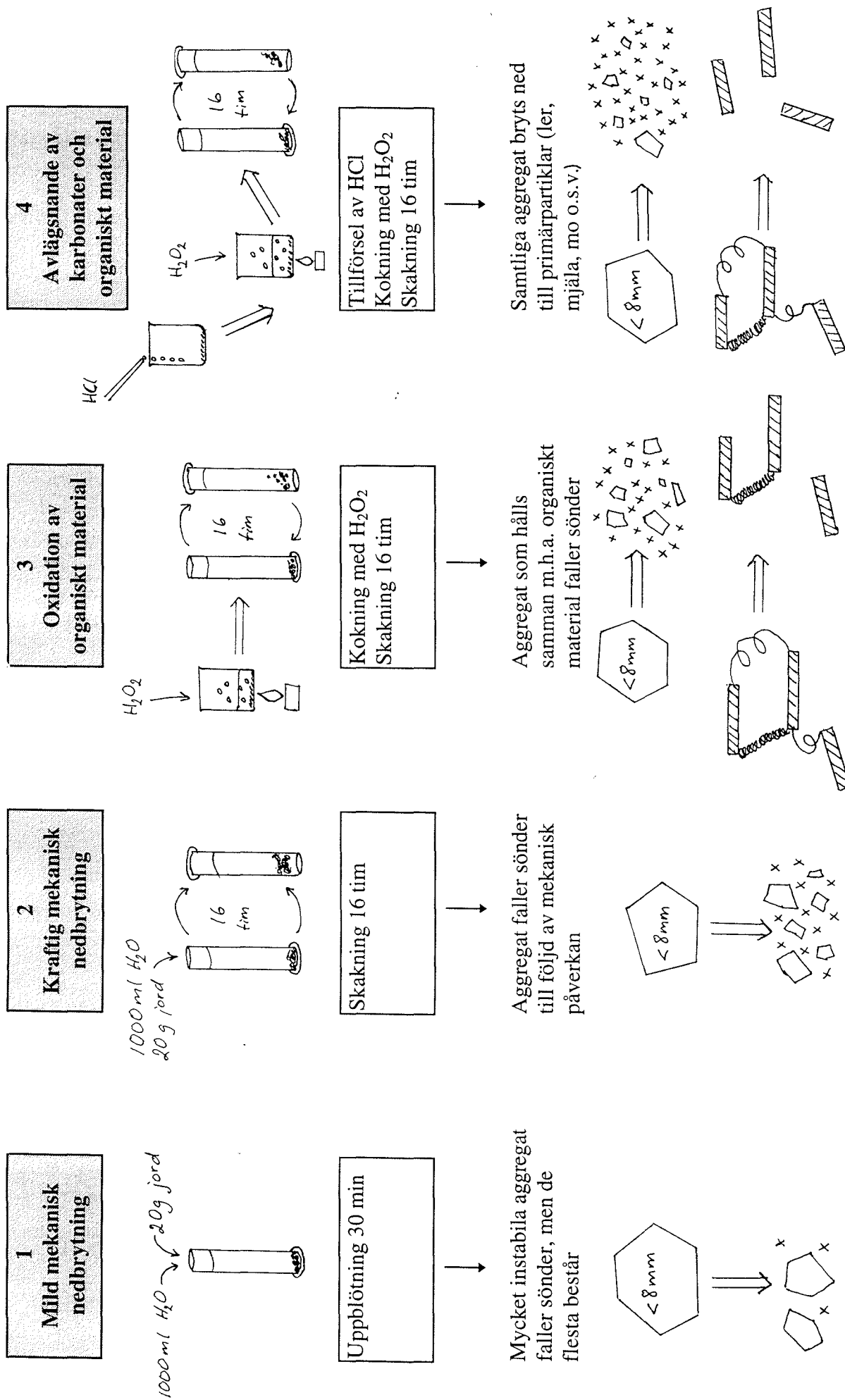
Aggregatstabilitet

Aggregatstabiliteten undersöktes med en aggregatanalysmetod, i vilken aggregaten utsattes för gradvis ökande mekanisk och kemisk nedbrytning (Churchman & Tate, 1986; Oades & Waters, 1991). Målet var att se vad som orsakat aggregeringen och hur stabil den var. De lufttorkade jordproverna pressades genom en sikt med maskvidden 8 mm. På så vis var alla i analysen medverkande aggregat mindre än 8 mm. Nedbrytningen av aggregaten utfördes i fyra steg: Mild mekanisk sönderdelning, kraftig mekanisk sönderdelning, oxidation av det organiska materialet samt avlägsnande av organiskt material och karbonater (fig 2).

1. *Mild mekanisk sönderdelning.* 20 g jord hälldes i en sedimentationscylinder (1000 ml) med avjoniserat vatten och fick stå i 30 minuter, varefter cylindern vändes upp och ned fyra gånger.

2. *Kraftig mekanisk sönderdelning.* 20 g jord hälldes i en sedimentationscylinder (1000 ml) med avjoniserat vatten och skakades i 16 timmar.

3. *Oxidation av det organiska materialet.* 20 g jord vägdes upp i en 600 ml glasbägare och tillfördes 50 ml 10% väteperoxidlösning (H_2O_2). Provet kokades på vattenbad tills vätskan klarnat och allt organiskt material var oxiderat (Ljung, 1987). Därefter fördes provet över till en sedimentationscylinder (1000 ml) tillsammans med avjoniserat vatten och skakades i 16 timmar.



Figur 2. Aggregatanalysens olika nedbrytningssteg. x = lerpartiklar, Q = organisk bindning, ZZZZ = lerpartiklar

4. *Avlägsnande av karbonater och organiskt material.* 20 g jord vägdes upp i en 600 ml glasbägare och fuktades därefter med avjoniserat vatten. För att avlägsna karbonatet tillfördes 1 N HCl droppvis tills provet slutat fräsa och all koldioxid avgått. Det organiska materialet oxiderades som beskrivet ovan, varefter provet tillfördes 50 ml 0,1 M natriumdifosfat, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$, för att dispergera leret. Provet fördes över till en sedimentationscylinder (1000 ml) tillsammans med avjoniserat vatten och skakades 16 timmar.

Efter varje behandling utfördes pipettanalys och våtsiktning enligt metod beskriven av Ljung (1987), för att bestämma kornstorleksfördelningen i provet. Pipettanalysen genomfördes på sedvanligt sätt och vid våtsiktningen användes siktar med maskvidderna 2 mm, 0,6 mm, 0,2 mm och 0,06 mm.

I alla behandlingar (steg 1-4) korrigerades den invägda jorden för vattenhalten och de olika fraktionernas vikt uttrycktes i procent av provets torrsubstansvikt (ts). Fraktionernas procenttal summerades och summan bör bli 100%. Vid tredje behandlingen (steg 3) användes glödgningsförlusten vid 375°C som ett mått på det organiska materialet och räknades med vid summeringen av fraktionernas procenttal. Vid den maximala behandlingen togs även hänsyn till kalciumkarbonathalt och det tillsatta dispergeringsmedlet.

Vattenhalt och glödgningsförlust

Av ursprungsprovet vägdes ca 10 g jord in i en ståldegel, varefter följande egenskaper undersöktes för att sedan användas vid beräkningen av de olika fraktionerna i den mekaniska analysen.

Vattenhalt. Provet torkades vid 105°C i 16 timmar. Viktminskningen utgör vattenhalten.

Halten organiskt material. Provet glödgades vid 375°C i 16 timmar. Skillnaden i vikt mellan 105°C och 375°C utgör halten organiskt material.

Glödgningsförlust. Provet glödgas vid 650°C i 2 timmar. Viktminskningen jämfört med glödgningen vid 375°C utgör mängden kristallvatten (vatten bundet till leret) som avgått.

Skörd

Skörden bestämdes i alla försöken av Danisco Sugar AB, enligt sedvanliga metoder. Skördad rotvikt och utvinnbart socker bestämdes och relaterades till de olika behandlingarna. Betorna skördades vid Planagården den 22 september, Emmylund och Trulstorp den 21 oktober och Ädelholm den 29 oktober.

Statistik

Statistiska beräkningar gjordes på vattenhalterna i fält, aggregatstabiliteten samt dispergerbart ler. De två sistnämnda endast efter nedbrytningssteg 1 och 2. Även skörderesultaten analyserades. Beräkningarna utfördes på Avdelningen för jordbruks-teknik vid Danisco Sugar AB. Lägsta signifikanta skillnad beräknades med 95% konfidensintervall (LSD 95%). Om skillnaden mellan två behandlingar är större än LSD 95% är den med 95% sannolikhet statistiskt signifikant. Signifikansnivån anger hur stor sannolikheten är att det lägsta och det högsta resultatet verkligen är olika varandra. Variationskoefficienten (CV) är ett mått på spridningen i försöket, angivet i procent av medeltalet av alla uppmätta värden. Låg CV betyder att spridningen är liten och att resultaten är trovärdiga.

RESULTAT

Fältundersökningen

Vattenhalter i fält

Vattenhalterna före sådd. Vattenhalterna på 0-10 cm djup före sådd var generellt sett högre i obehandlade led än övriga (tab 8), vilket tyder på att upptorkningen före vårbruket var mer effektiv i de kalkade leden och mest effektiv vid den stora givan släckt kalk (3 Släckt). Vid jämförelse visade det sig att minskningen i vattenhalt från obehandlat led till ledet med stor giva släckt kalk var på Ädelholm 5%; Emmylund 16%; Trulstorp 12% och Planagården 14%. Vid Emmylund och Trulstorp hade sockerbrukskalken (Sbk) lika god effekt på upptorkningen som den stora givan släckt kalk. Förbättringarna i upptorkning är endast statistiskt säkerställda på Planagården.

Tabell 8. Vattenhalter i fält på respektive försöksplats (% av ts). VC=variationskoefficient, LSD 95%=lägsta signifikanta skillnad, Sign.=Signifikansnivå, d.v.s procentuell sannolikhet att högsta och lägsta värdet är olika

Ädelholm	Obeh	Släckt	Kmjöl	Sbk	3Släckt	VC	LSD 95%	Sign.
Före sådd (0-10 cm)	15,1	15,0	14,6	15,9	14,3	6,6	1,5	95,9
Före sådd (10-20 cm)	18,3	18,5	19,0	18,4	18,8	2,1	0,6	97,9
Vid sådd (såbädd)	6,9	7,4	7,1	6,3	6,8	16,1	1,8	72,7
Vid sådd (såbotten)	16,2	15,8	16,8	16,8	15,9	7,0	1,8	75,6
Emmylund								
Före sådd (0-10 cm)	14,2	13,5	13,4	12,0	12,0	16,4	3,3	84,0
Före sådd (10-20 cm)	18,2	19,4	18,2	17,7	19,1	6,0	1,7	94,8
Vid sådd (såbädd)	11,6	13,8	11,8	15,8	13,4	39,8	8,2	72,1
Vid sådd (såbotten)	16,9	18,0	16,6	18,1	16,6	15,8	4,2	53,5
Trulstorp								
Före sådd (0-10 cm)	15,2	15,0	17,7	13,7	13,4	30,1	7,3	79,0
Före sådd (0-20 cm)	23,1	23,5	24,1	24,7	21,5	13,6	4,9	81,8
Vid sådd (såbädd)	5,8	6,7	6,8	6,1	7,5	12,6	1,3	98,7
Vid sådd (såbotten)	19,9	21,3	21,1	21,0	21,7	8,5	2,8	83,1
Planagården								
Före sådd (0-10 cm)	23,7	21,8	22,1	22,7	20,3	7,3	2,5	98,9
Före sådd (0-20 cm)	26,9	25,2	26,1	27,3	25,3	6,1	2,5	90,9
Vid sådd (såbädd)	16,8	13,3	16,9	16,0	14,5	12,1	2,9	98,2
Vid sådd (såbotten)	22,5	23,0	23,6	23,4	22,5	9,0	3,2	53,7
Medel, alla försök								
Före sådd (0-10 cm)	17,1	16,3	16,9	16,1	15,0	6,2	1,5	98,7
Före sådd (0-20 cm)	21,6	21,7	21,8	22,0	21,1	4,2	1,4	80,6
Vid sådd (såbädd)	10,3	10,3	10,7	11,1	10,6	12,9	2,1	55,8
Vid sådd (såbotten)	19,0	20,0	20,0	20,0	19,0	3,0	1,0	97,0

Ser man däremot till medelvärdena för alla fyra försöksplatserna var skillnaden mellan obehandlat led och stor giva släckt kalk statistiskt signifikant. Av detta kan man utläsa att stora givor släckt kalk gav snabbare och effektivare upptorkning före vårbruket. Vattenhalterna på 10-20 cm djup före sådd visade inga säkerställda skillnader mellan leden.

Vattenhalterna vid såtillfället. Såbäddens vattenhalter vid sådd visade inga tydliga skillnader mellan leden, utom vid Planagården där försökets led med släckt kalk hade högre vattenhalt än obehandlat led. Såbottens vattenhalter vid sådd visade heller inga skillnader på Emmylund och Ädelholm. På Trulstorp och Planagården var vattenhalten i obehandlade led lägre än övriga led. Ingen de skillnaderna var statistiskt signifikant.

Att kalkade led var torrare före sådd än obehandlade led överensstämde med förväntade resultat. Ofta kan man t.o.m. se skillnaderna i fält med blotta ögat, men så var inte fallet i denna undersökning. Även om de synliga skillnaderna är tydliga, behöver det inte betyda att vattenhalterna är lägre i kalkade led. Eftersom vattnet stängs inne men ändå finns kvar i de porer och håligheter som bildas då kalk tillförs jorden, kan vattenhalten fortfarande vara densamma (Berglund 1971). I detta försök framgår emellertid kalkens effekter även i vattenhaltsbestämningen, åtminstone i ytskiktet (0-10 cm). Den troliga orsaken är att kalken gjorde markytan mer lucker och att avdunstningen därmed ökade, vilket ledde till ett torrare ytskikt.

Att de olika leden i kalkningsförsök torkar upp olika fort kan leda till att en del av kalkeffekterna uteblir om man inte har olika såtidpunkter för de olika leden. Eftersom hela fältet (alla led) sås samtidigt, när alla försöksrutorna och övriga fältet har torkat upp tillräckligt, kan det hända att de kalkade leden sås för sent ur upptorknings-synpunkt. Det kan ge försämrad uppkomst och etablering av grödan i de kalkade leden och på så sätt dölja en del av kalkens eventuella positiva effekt (Berglund, opubl.). I denna försöksserie uppmättes inga skillnader i vattenhalt mellan leden vid såtillfället och samtliga led inom ett försök såddes vid enhetliga vattenhalter. Anledningen kan vara att jorden vid harv-ningarna genomluftades så mycket att vattenhalterna utjämnades, eller att regnvädren mellan första provtagningen och såtillfället ledde till utjämningen. Detta kan ha lett till att kalkens effekter blivit mindre tydliga.

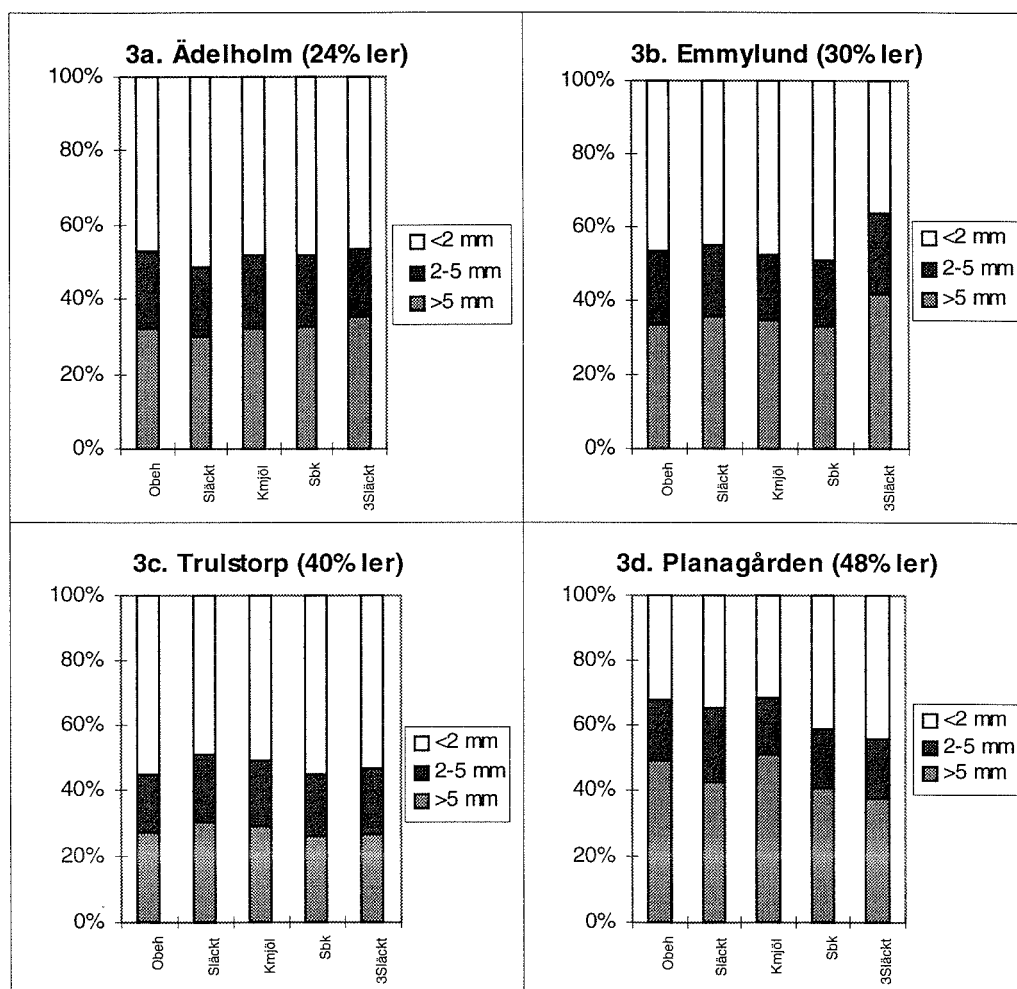
Aggregatstorleksfördelning i såbädden

På Ädelholm och ännu tydligare på Emmylund gav den högsta kalkgivan (3 Släckt) högre andel stora aggregat (>5 mm) och en lägre andel små aggregat (<2 mm), jämfört med obehandlat led. På Planagården var förhållandet det motsatta och samtliga kalkade led gav, med undantag av kalkstensmjölet (Kmjöl), lägre andel stora aggregat än obehandlat led. Planagården hade också överlag en lägre andel finjord i såbädden jämfört med övriga platser. På Trulstorp fanns inga tydliga skillnader mellan kalkade och okalkat led. Resultaten redovisas i figur 3.

Kalkningen hade ingen entydig påverkan på aggregatstorleksfördelningen i såbädden. Man kunde förvänta sig att kalkade led skulle haft större andel stora aggregat och mindre andel små aggregat p.g.a. kalkens aggregatstabiliserande förmåga. Eftersom

resultaten var otydliga på Ädelholm och Trulstorp kan man jämföra Emmylund och Planagården, som visar tydliga men helt olika resultat. På Planagården gav en hög giva släckt kalk betydligt större andel finjord jämfört med övriga led. På Emmylund var förhållandet det motsatta, d.v.s. andelen finjord var klart lägre vid den höga givan släckt kalk. Man kan antaga att de olika resultaten beror på någon av de skillnader i förutsättningar som finns mellan de bägge platserna.

Till att börja med är Emmylund en lättlera och Planagården en styv lera. I teorin borde kalken då givit högre verkan, vad gäller aggregatstabiliteten i jorden, på Planagården med den högre lerhalten eftersom det krävs lerpartiklar för att stabiliseringen ska uppstå. En annan skillnad mellan platserna är att halten organiskt material är generellt sett högre på Planagården än på Emmylund om man utgår från halten organiskt bundet kol (tab 10). Det organiska materialet har större betydelse för bildningen och stabiliseringen av stora aggregat än av små, medan kalken (Ca^{2+}) i huvudsak påverkar mindre aggregat (Oades, 1984). Alltså borde det varit större andel stora aggregat på Planagården än på Emmylund till följd av både innehållet av ler och organiskt material, vilket också var fallet i obehandlat led, men inte i en del av de kalkade leden.



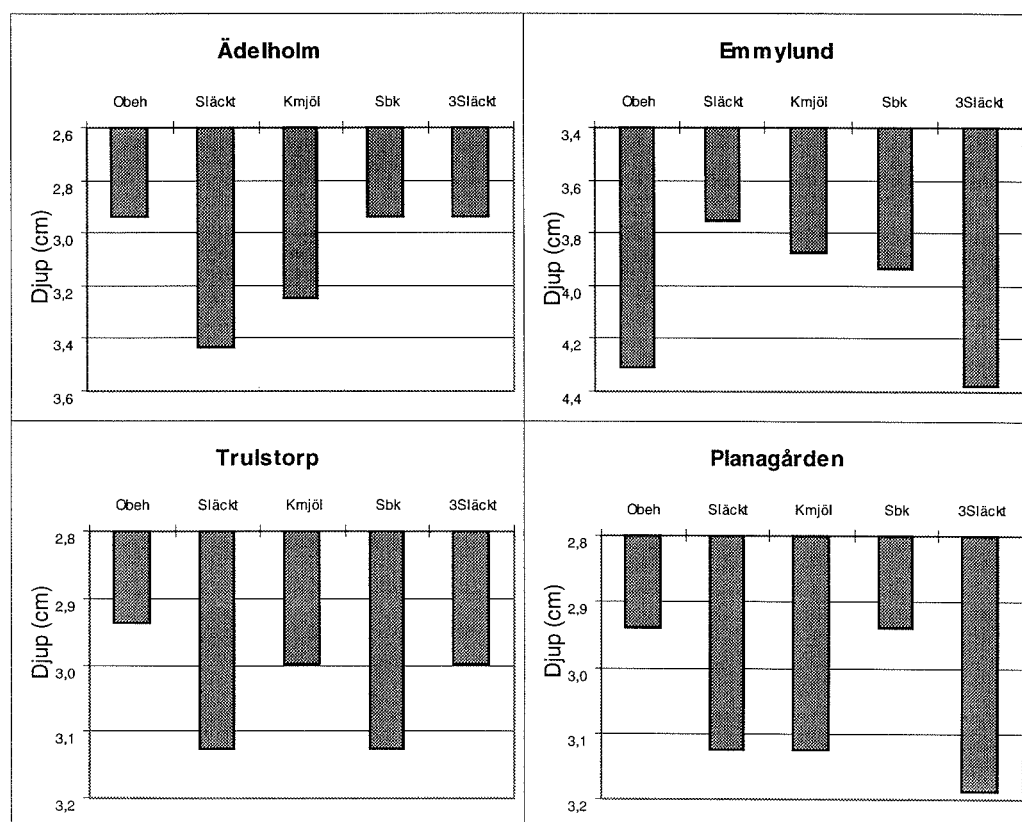
Figur 3. Aggregatstorleksfördelning i såbädden vid de olika försöksplatserna.

Minst hälften av aggregaten bör vara mindre än 4 mm för att ge ett fullgott avdunstningsskydd (Hammar, 1987) och i de flesta fall i denna undersökning är andelen aggregat <5 mm klart över eller strax över 50%. En större andel aggregat >5 mm är alltså inte nödvändig och den nytta kalken skulle kunna göra är att öka andelen aggregat 2-5 mm, genom att minska nedbrytningen av dessa.

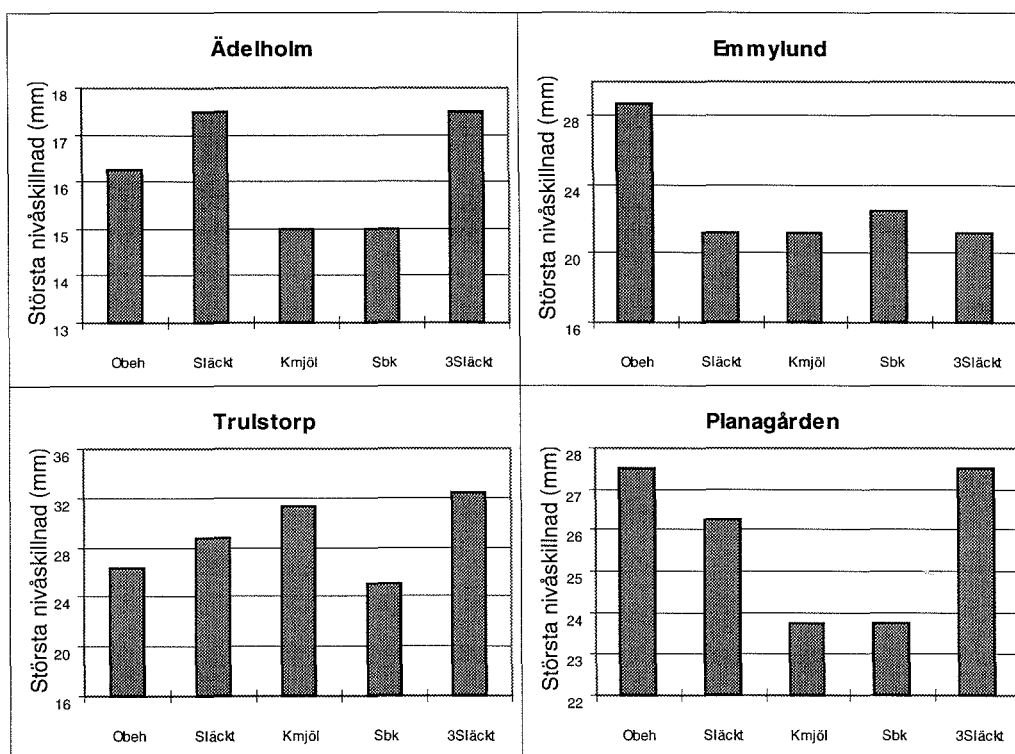
Bearbetningsdjup och bearbetningsbottens jämnhet

Bearbetningsdjup. Om man bortser från Emmylund, hade kalkade led överlag större bearbetningsdjup än okalkade led (fig 4). Inom de kalkade leden var dock variationen stor. Exempelvis på Ädelholm och Trulstorp gav leden med den högsta kalkgivan det grundaste bearbetningsdjupet. Dessutom var skillnaderna mellan leden relativt små, varför det är svårt att dra några slutsatser om kalkens inverkan.

I och med att de kalkade leden är torrare vid vårbrukets start och har en mer lucker struktur i ytskiktet, borde kalkade led få ett större bearbetningsdjup vid harvningen. Detta särskilt om harven är inställd för harvning i den okalkade jord som ju finns på



Figur 4. Bearbetningsdjup vid de olika försöksplatserna. Observera att det är olika skalor på axeln som visar djupet.



Figur 5. Bearbetningsbottens jämnhet, uttryckt som skillnaden mellan bearbetningsbottens högsta och lägsta nivå i förhållande till ett vågrätt plan. Observera att det är olika skalor på axeln med största nivåskillnad.

övriga delar av fältet och är mer svårbehandlad än den kalkade jorden i försöksrutorna (Berglund, opubl.). På Ädelholm, Trulstorp och Planagården stämmer denna teori med resultaten. Å andra sidan är fuktig jord mjukare än torr, vilket skulle kunna betyda att mer jord rivs upp vid harvningen och att bearbetningen blir djupare.

Bearbetningsbottens jämnhet. I figur 5 redovisas bearbetningsbottens jämnhet som skillnaden mellan bearbetningsbottens högsta och lägsta punkt över en viss area. På Emmylund var obehandlat led mer ojämnt än samtliga andra led. Detta gäller dock inte på övriga försöksplatser där inga tydliga tendenser kunde ses. Det man kan säga generellt är att sockerbrukskalken alltid gav en jämnare bearbetningsbotten jämfört med obehandlat led.

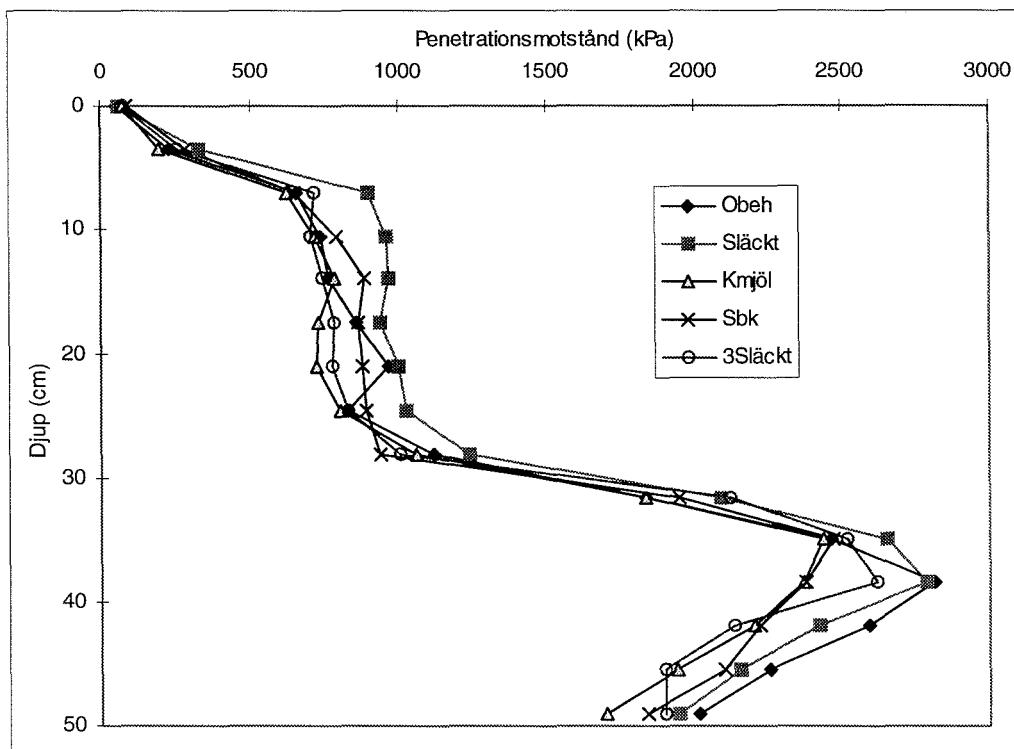
Som nämnts tidigare kan fuktigare jord vara mjukare än torr vilket gör att mer jord och stora kokor rivs upp. Det är då rimligt att förvänta sig att bearbetningsbotten blivit mer ojämn i obehandlade led, men det är svårt att dra några slutsatser här eftersom resultaten är långt ifrån konsekventa.

Markmotstånd

Markmotståndsmätningarna gjordes ned till 50 cm djup, men eftersom normala bearbetningsmetoder användes bör kalken bara ha verkat i matjorden. De översta 5 cm utgjordes av såbädden där det var svårt att särskilja leden. Detta gjorde att de

intressanta skillnaderna fanns från c:a 5 cm djup till plogsulans början. Det kan dock vara intressant att relatera skördenivåerna till motståndet i hela mätdjupet, varför detta redovisas. Plogsulans djup varierade mellan försöksplatserna men inte nämnvärt mellan leden. För övrigt kan man notera att det endast var Ädelholm som hade en markerad plogsula. På övriga platser övergick matjorden i en mer kompakt övre alv.

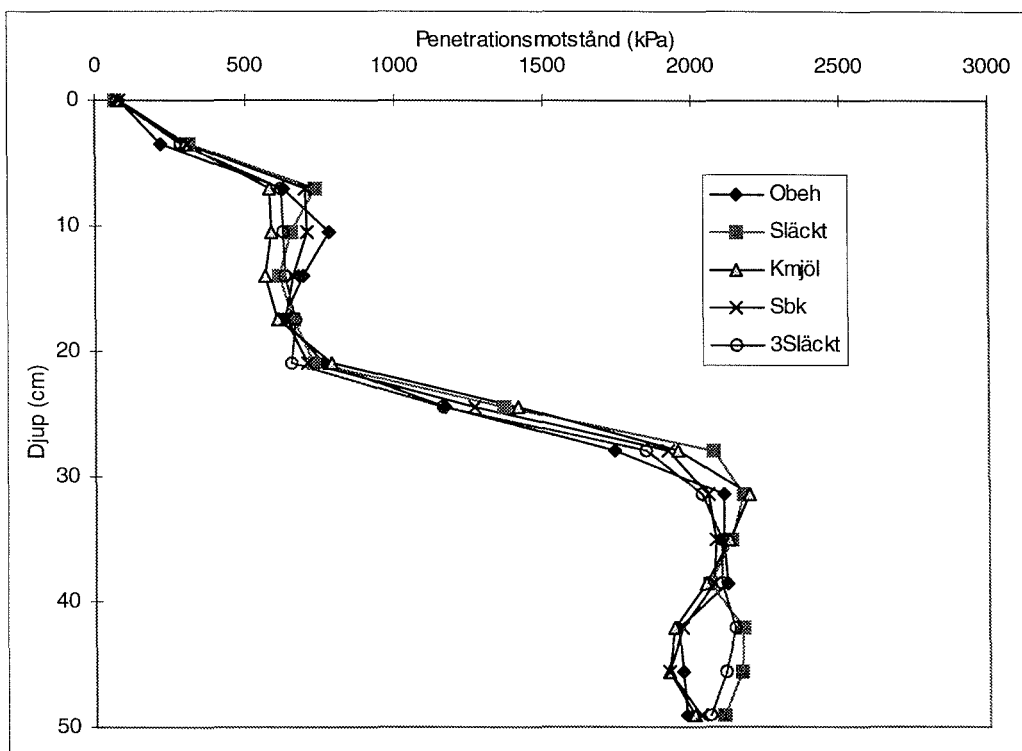
Ädelholm. I figur 6 kan man se att matjorden hade lägst penetrationsmotstånd i leden kalkade med kalkstensmjöl och stor giva släckt kalk. Motståndet i obehandlat led låg delvis på samma nivå och låg giva släckt kalk respektive sockerbrukskalk hade ett högre markmotstånd i matjorden än okalkade led. Att skillnaderna skulle bero på kalkningen är därför inte troligt.



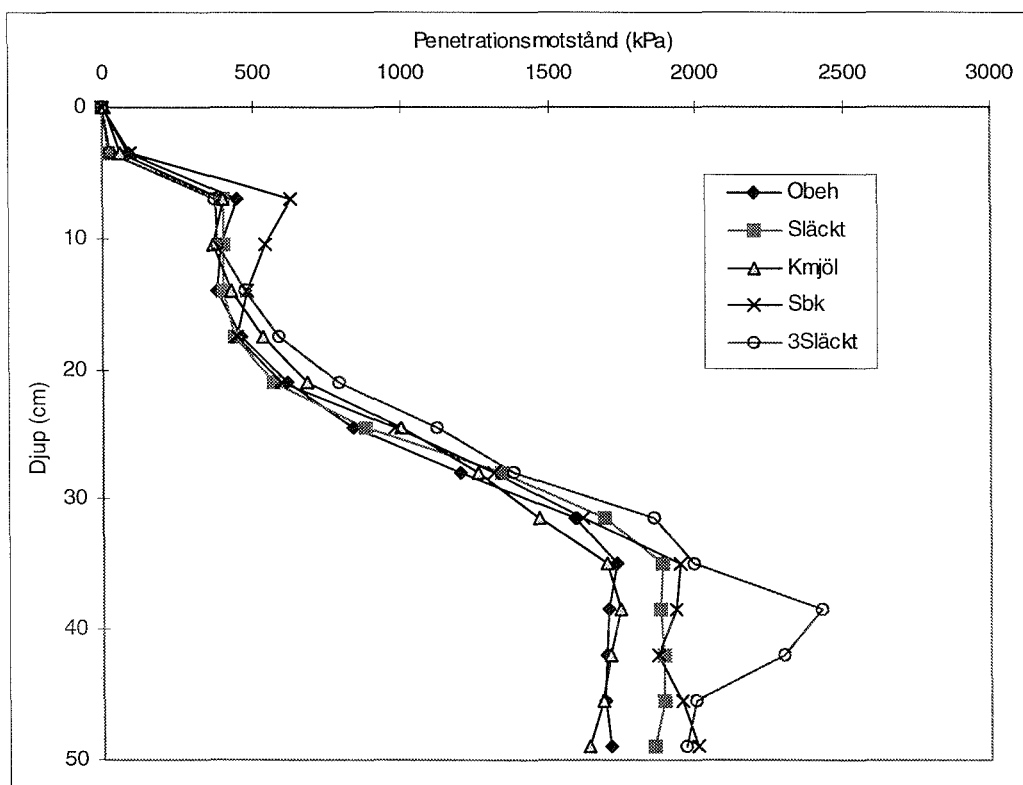
Figur 6. Penetrationsmotstånd som funktion av djupet vid Ädelholm i respektive led (medeltal från två block).

Emmylund. Här var skillnaderna mellan leden små, men man kan se att obehandlat led hade störst penetrationsmotstånd, åtminstone i mitten av matjorden (fig 7). Detta tyder på att kalkningen i viss mån minskade markens motstånd. Lägst motstånd verkar även här ha åstadkommit av kalkstensmjölet.

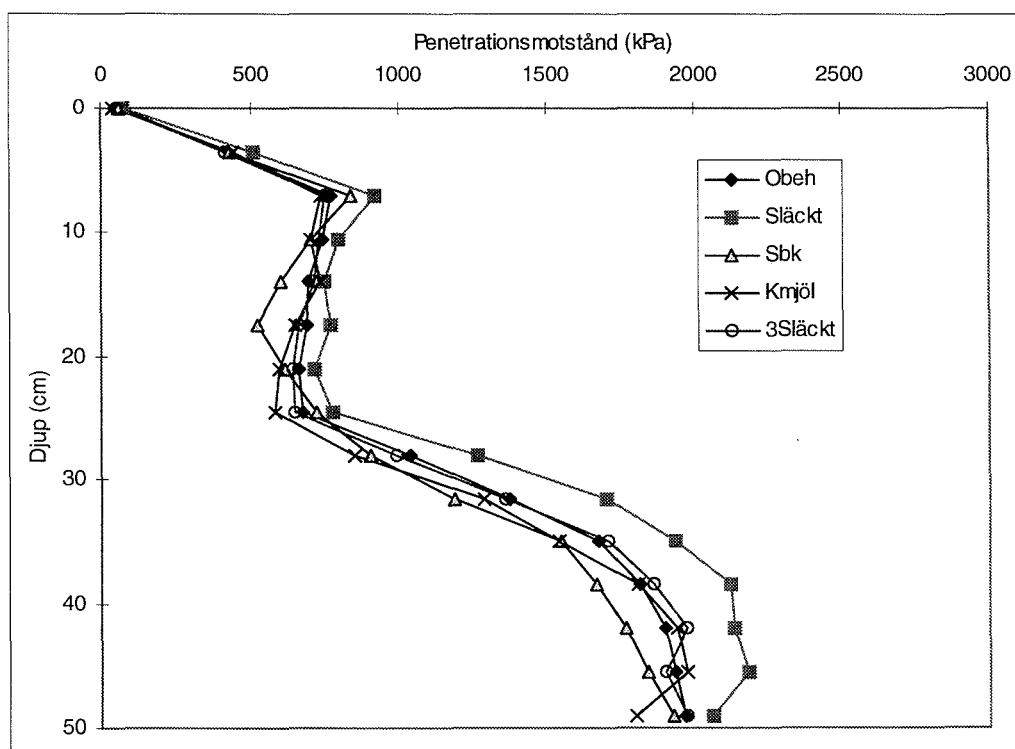
Trulstorp. Figur 8 visar att det på Trulstorp inte fanns någon lika tydlig plogsula utan en mer gradvis övergång till kompaktare jord. Direkt under såbädden (5-10 cm djup) uppmättes inga skillnader mellan leden, förutom att ledet med sockerbrukskalk hade ett betydligt större markmotstånd. Resultatet beror förmodligen mer på tillfälligheter än på kalkningen. Lite djupare ned i matjorden och i övergången till alven (15-25 cm djup) hade leden som kalkats med kalkstensmjöl och den stora givan släckt kalk det



Figur 7. Penetrationsmotstånd som funktion av djupet vid Emmylund i respektive led (medeltal från alla fyra blocken).



Figur 8. Penetrationsmotstånd som funktion av djupet vid Trulstorp i respektive led (medeltal från två block).



Figur 9. Penetrationsmotstånd vid Planagården i respektive led (medeltal från två block).

största penetrationsmotståndet. Orsaken torde vara att kalken inte hade någon verkan så djupt ner i marken och skillnaderna fanns förmodligen redan före försökets start.

Planagården. På Planagården är resultaten relativt lika dem på Ädelholm så till vida att kalkning med låg giva släckt kalk gav högst markmotstånd och kalkstensmjölet lägst (fig 9). Övriga led var mycket lika det obehandlade.

I den mån man kunde se några ledskillnader, gav kalken inte minskat markmotstånd i matjorden. Det enda kalkningsmedel som genomgående visade något lägre penetrationsmotstånd är kalkstensmjöl. Övriga medel gav oftast lika stort eller högre motstånd än obehandlat led. Skillnaderna kan ha uppkommit p.g.a. att upprepningarna vid mätningarna var för få. Vissa tekniska problem gjorde att mätningarna på Ädelholm, Trulstorp och Planagården enbart kunde utföras i två av de fyra försöksblocken. På Emmylund, där samtliga block kunde undersökas är skillnaderna mellan leden minst, vilket troligtvis beror på ett bättre försöksunderlag. Dessutom är ledskillnaderna på Emmylund sådana att resultatet där kommer närmast det förväntade, d.v.s. att kalken har förbättrat markens struktur och minskat penetrationsmotståndet. Även detta pekar på att upprepningarna varit för få på övriga försöksplatser.

Kemiska analyser

De kemiska analyser som gjordes var bestämning av organiskt och oorganiskt kol samt pH. Resultaten finns redovisade i tabell 9 och 10. Halten karbonatkol bestämdes genom att beräkna differensen mellan totala kolhalten och halten organiskt kol (tab 10). Ibland fick karbonatkolhalten negativt värde, vilket visar att det finns en viss osäkerhet i dessa analysresultat. När halten karbonatbundet kol är negativ antas hela kolinnehållet bestå av organiskt bundet kol.

Halten organiskt bundet kol motsvarar provets innehåll av organiskt material. Kalkens inverkan på det organiska materialet och mullhalten kan vara både positiv och negativ. Positiv så till vida att kalken förstärker bindningarna mellan det organiska materialet och markpartiklarna och på så sätt bevarar det organiska materialet, eller negativ genom att kalkens pH-höjning gynnar markens mikroorganismer och därmed ökar nedbrytningen av organiskt material och mullhalten sjunker (Berglund, pers. medd. 1998). Kalken verkar i detta fall inte ha påverkat halten organiskt material. Halten organiskt kol varierade stort mellan blocken vid Emmylund och Planagården (tab 10). Det organiska materialet har betydelse framför allt för stabiliteten hos de större aggregaten, så variationen kan ha påverkat resultaten i aggregatanalysen.

Tabell 9. pH mätt i vatten på respektive försöksplats. Understrukna värden är det lägsta i obehandlat led och kursiva värden är det högsta

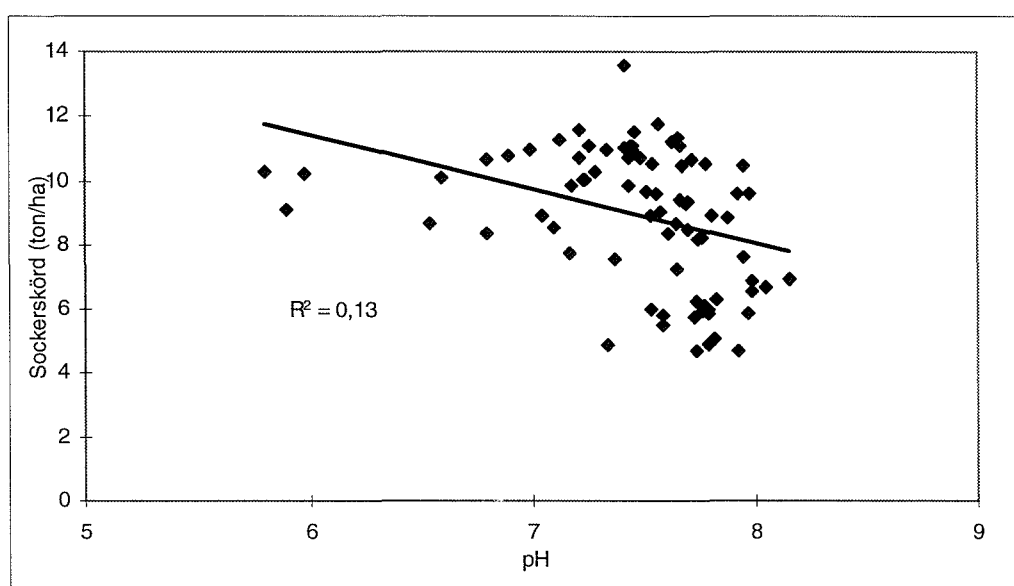
Ädelholm	Obeh	Släckt	Kmjöl	Sbk	3 Släckt	Medel
Block I	7,5	7,4	7,5	7,4	7,5	7,5
Block II	7,7	7,6	7,5	7,4	7,4	7,5
Block III	<u>6,8</u>	7,3	7,3	7,0	7,1	7,1
Block IV	6,9	7,4	7,2	7,5	7,6	7,3
Medel	7,2	7,5	7,4	7,3	7,4	7,4
Emmylund						
Block I	<u>6,0</u>	5,8	5,9	6,6	7,2	6,3
Block II	7,6	7,7	7,6	7,3	7,5	7,5
Block III	7,2	7,4	7,2	7,2	7,7	7,3
Block IV	7,6	7,7	7,8	7,7	8,0	7,8
Medel	7,1	7,1	7,1	7,2	7,6	7,2
Trulstorp						
Block I	7,8	7,9	7,6	8,0	7,9	7,8
Block II	<u>6,5</u>	7,1	7,0	6,8	8,0	7,1
Block III	7,4	7,5	7,2	7,8	7,7	7,5
Block IV	7,7	7,7	7,7	7,7	7,8	7,7
Medel	7,3	7,6	7,4	7,5	7,8	7,5
Planagården						
Block I	7,8	7,8	7,9	7,7	7,8	7,8
Block II	<u>7,3</u>	7,8	8,0	8,0	8,2	7,9
Block III	7,6	7,5	7,6	7,8	7,7	7,6
Block IV	7,7	7,8	7,8	8,0	8,1	7,9
Medel	7,6	7,7	7,8	7,9	7,9	7,8

Tabell 10. Kolinnehåll (% av ts). Tot=total kolhalt, Org=halt organiskt kol, C-CO₃=halt karbonatkol. Om värdet för C-CO₃ är negativt antas allt kol föreligga som organiskt bundet kol. Understrukna värden är det lägsta i obehandlat led (Org) och kursiva värden är det högsta

Ädelholm	Obeh		Släckt		Kmjöl		Sbk		3 Släckt		
	Tot	Org	C-CO ₃	Tot	Org	C-CO ₃	Tot	Org	C-CO ₃	Tot	Org
Block I	1,46	1,11	0,35	1,46	1,23	0,23	1,50	1,23	0,27	1,55	1,13
Block II	1,48	1,10	0,38	1,44	1,08	0,36	1,39	1,01	0,38	1,39	1,06
Block III	1,48	<i>1,12</i>	0,36	1,47	1,05	0,42	1,44	1,11	0,33	1,47	1,02
Block IV	1,38	<u>1,04</u>	0,34	1,39	1,12	0,27	1,48	1,06	0,42	1,43	1,03
Medel	1,45	1,09	0,36	1,44	1,12	0,32	1,45	1,10	0,35	1,46	1,06
Emmylund											
Block I	1,34	<u>1,00</u>	0,34	1,40	1,45	-0,05	1,45	1,40	0,05	1,40	1,40
Block II	1,60	1,59	0,01	1,67	1,62	0,05	1,60	1,57	0,03	1,70	1,74
Block III	1,74	<i>1,75</i>	-0,01	1,66	1,56	0,10	1,79	1,76	0,03	1,60	1,57
Block IV	1,88	1,63	0,25	1,86	1,68	0,18	1,98	1,81	0,17	1,91	1,71
Medel	1,64	1,50	0,14	1,65	1,58	0,07	1,71	1,64	0,07	1,65	1,60
Trulstorp											
Block I	1,53	<u>1,46</u>	0,07	1,57	1,42	0,15	1,56	1,44	0,12	1,59	1,43
Block II	1,89	<i>1,69</i>	0,20	1,82	1,61	0,21	1,78	1,67	0,11	1,82	1,74
Block III	1,76	1,67	0,09	1,78	1,65	0,13	1,71	1,66	0,05	1,72	1,68
Block IV	1,61	1,52	0,09	1,55	1,40	0,15	1,68	1,42	0,26	1,56	1,42
Medel	1,70	1,58	0,11	1,68	1,52	0,16	1,68	1,55	0,13	1,67	1,57
Planagården											
Block I	1,71	1,80	-0,09	1,66	1,62	0,04	1,57	1,69	-0,12	1,21	1,77
Block II	1,56	1,65	-0,09	1,61	1,70	-0,09	1,61	1,61	0,00	1,70	1,70
Block III	1,55	<u>1,53</u>	0,02	1,45	1,50	-0,05	1,64	1,72	-0,08	1,71	1,69
Block IV	1,89	<i>1,99</i>	-0,10	1,98	1,97	0,01	1,94	2,02	-0,08	1,93	1,98
Medel	1,68	1,74	-0,07	1,68	1,70	-0,02	1,69	1,76	-0,07	1,64	1,79

Även när det gäller pH uppmättes betydande skillnader mellan blocken på försöksplatserna (tab 9). Block I på Emmylund och block II på Trulstorp hade klart lägre pH än övriga block på samma plats. Det är troligt att även skillnaderna inom blocken var stora. I t.ex. block II på Ädelholm var pH högre i obehandlat led än i de kalkade leden. Anledningen till de stora variationerna är svår att se, men de kan ha påverkat försöksresultaten genom att kalken i försöksrutor med lågt ursprungligt pH haft en relativt stor kemisk effekt som stört utvärderingen av de fysikaliska effekterna.

Vid en regressionsanalys av skördens beroende av pH visar det sig att det inte finns något samband ($R^2=0,13$) (fig 10). I dessa försök verkar kalkens pH-höjande effekt inte ha påverkat skördenivåerna positivt och man kan därför antaga att skördeökningarna beror på kalkens strukturförbättrande effekt.



Figur 10. Regressionsanalys. Skördens beroende av pH.

Aggregatstorleksfördelning efter de olika nedbrytningsstegen

Här redovisas hur aggregatens storleksfördelning ändrades efter nedbrytande behandlingar med ökande intensitet (steg 1-4). Aggregaten har delats upp i fraktionerna $>200\ \mu\text{m}$ (motsvarande sand och grus), $20\text{-}200\ \mu\text{m}$ (motsvarande mo) och $<20\ \mu\text{m}$ (motsvarande ler och mjäla). Önskvärd storleksfördelning är att majoriteten av aggregaten är $20\text{-}200\ \mu\text{m}$. För hög andel aggregat $<20\ \mu\text{m}$ ger en alltför kompakt såbädd med ogynnsamma groningsförhållanden och för hög andel aggregat $>200\ \mu\text{m}$ kan göra såbädden och såbotten för torr eftersom avdunstningsskyddet försämras (Berglund, pers. medd. 1998). Man bör dock komma ihåg att storleksfördelningen som tas upp här inte motsvarar den verkliga i såbädden vid sådd, utan den som uppkommit efter nedbrytning av aggregaten. Proven togs på djupet 0-10 cm.

På grund av jordartsskillnaderna (mull- och lerhalt) mellan försöksplatserna, redovisas varje plats för sig med betoning på skillnader mellan de olika behandlingarna.

Statistiska beräkningar utfördes i nedbrytningssteg 1 och 2, i fraktionen 20-200 μm och redovisas i tabell 11. Först redovisas hur förhållandena mellan fraktionerna förändrades i metodens olika steg.

Förändringar mellan de olika nedbrytningsstegen

Mild mekanisk behandling (Steg 1) (fig 11a, 12a, 13a och 14a). På samtliga provplatser var omkring 90% av aggregaten större än 20 μm i diameter och endast några få procent var mindre än 20 μm . Fraktionerna 20-200 μm och >200 μm fördelade sig olika beroende på bl.a. provets lerhalt. Ett högt lerinnehåll (Trulstorp och Planagården) gav hög andel stora aggregat (>200 μm), medan en lägre lerhalt (Ädelholm och Emmylund) gjorde att aggregaten blev mer jämnt fördelade mellan fraktionerna 20-200 μm och >200 μm .

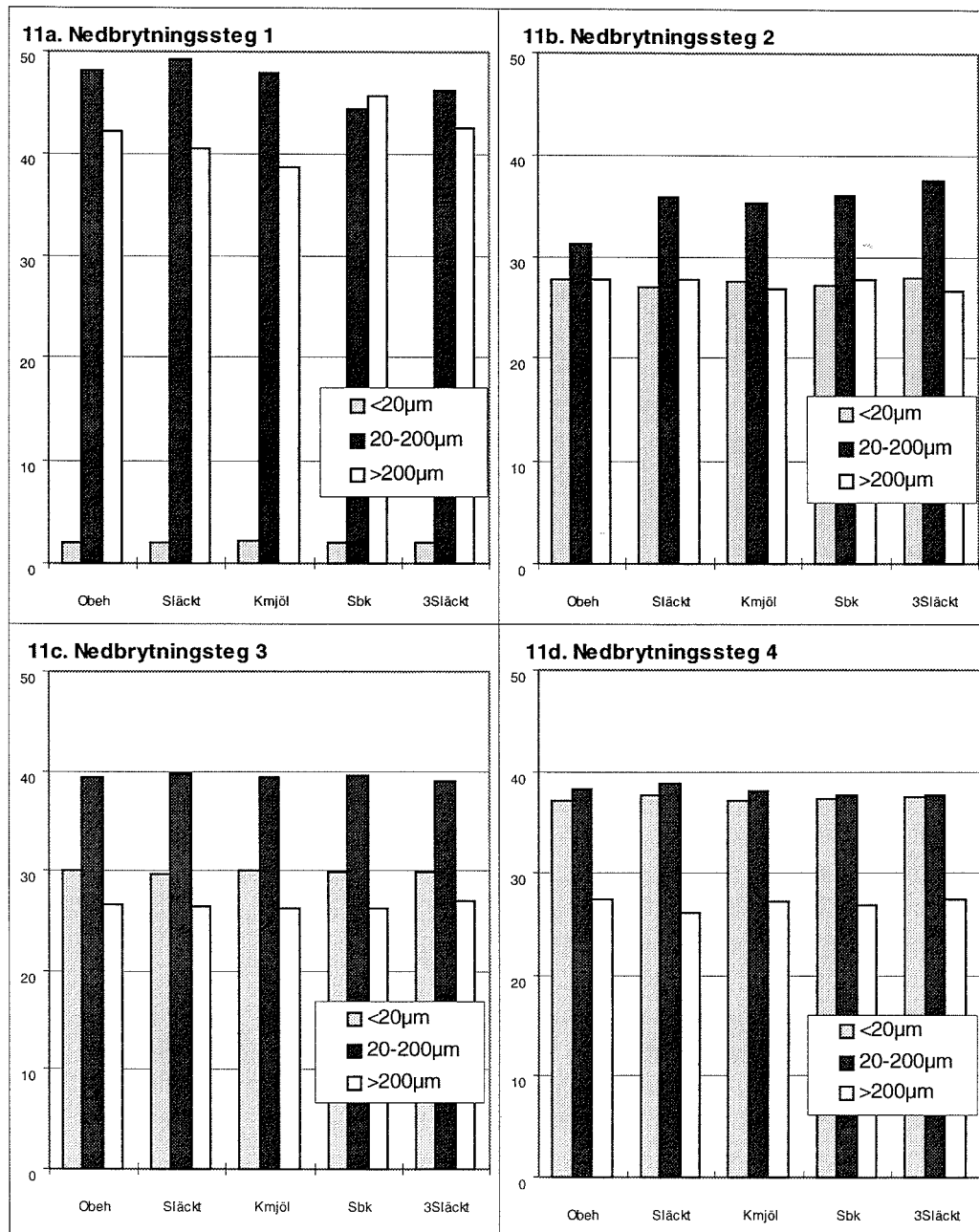
Kraftig mekanisk behandling (Steg 2) (fig 11b, 12b, 13b och 14b). Andelen aggregat >200 μm minskade jämfört med den milda mekaniska behandlingen, vilket beror på att de stora aggregaten bröts ned till mindre. Det bildades alltså aggregat i fraktionerna 20-200 μm och <20 μm . Även andelen aggregat 20-200 μm minskade dock mellan nedbrytningssteg 1 och 2, eftersom det i den fraktionen bröts ned aggregat i snabbare takt än det tillkom nya. Andelen aggregat <20 μm ökade, då det hamnade aggregat i den fraktionen till följd av nedbrytning av både de största och mellanstora aggregaten.

Oxidering av organiskt material (Steg 3) (fig 11c, 12c, 13c och 14c). Andelen aggregat >200 μm sjönk vanligtvis något ytterligare jämfört med nedbrytningssteg 2. Förmodligen hade i det närmaste alla aggregat >200 μm brutits ned i detta steg och denna fraktion bestod nu av primära partiklar >200 μm . Aggregaten 20-200 μm utgjorde en större andel än efter den mekaniska behandlingen. Detta beror på att andelen aggregat >200 μm sjönk och att större mängd aggregat 20-200 μm bildades än bröts ned. Även andelen aggregat <20 μm steg jämfört med nedbrytningssteg 2, eftersom de större aggregaten bröts ned. Minskningen i andelen aggregat >200 μm efter oxidering av organiskt material var dock sällan tillräckligt stor för att helt motivera höjningen i andelen aggregat 20-200 μm och <20 μm . Det kan delvis bero på att det organiska materialet utgjorde en relativt stor del av aggregaten >200 μm och att borttagandet av detta bidrog till viktförlusten mellan stegen.

Om man jämför detta steg med steg 1 och även kommande steg 4, är det rimligt att tro att en stor del av aggregaten hölls ihop med hjälp av det organiska materialet. Det är heller inte annat att vänta, då det organiska materialet, tillsammans med leret spelar störst roll i aggregatbildningen. Om man ser till skillnaden mellan steg 2 och 3 är den betydligt mindre, vilket tyder på att det organiska materialet, som ju är den enda skillnaden mellan steg 2 och 3, hade mindre betydelse för aggregatens motståndskraft (stabilitet) mot mekanisk nedbrytning. Detta eftersom det var relativt få ytterligare aggregat som bröts ned under 16 timmars skakning, vid borttagande av det organiska materialet jämfört med när det fanns kvar.

Avlägsnande av karbonater (Steg 4) (fig 11d, 12d, 13d och 14d). Efter detta steg var alla aggregat nedbrutna och man fick primärpartiklarnas storleksfördelning. Andelen aggregat >200 μm låg normalt på ungefär samma nivå som efter nedbrytningssteg 3.

Andelen aggregat 20-200 μm sjönk något då de sista aggregaten bröts ned. Detta gör att andelen aggregat <20 μm steg ytterligare jämfört med efter oxideringen av organiskt material. Även i detta nedbrytningssteg var minskningen av andelen större aggregat lägre än ökningen av andelen mindre aggregat.



Figur 11. Aggregatens storleksfördelning efter de olika nedbrytningsstegen vid Ädelholm, angiven i % av torrsubstansen.

Ädelholm

Steg 1. Det är svårt att säga om kalken gav någon effekt här eftersom obehandlat led hade lika hög andel stora aggregat som övriga led och variationen mellan leden inte visade något tydligt mönster (fig 11a). Om man ser på procenttalen med två decimalers noggrannhet kan man dock se vissa skillnader i fraktionen $<20\text{ }\mu\text{m}$. Obehandlat led och kalkstensmjölet hade då störst andel aggregat $<20\text{ }\mu\text{m}$ (2,13% resp. 2,19%), medan övriga kalkningsmedel hade lägre andel aggregat $<20\text{ }\mu\text{m}$ (1,99% till 2,06%). Skillnaderna är dock mycket små.

Steg 2. Figur 11b visar att andelen aggregat $>200\text{ }\mu\text{m}$ sjönk jämfört med steg 1 från c:a 40% till mindre än 30%, och variationen mellan leden jämnades ut. Även andelen 20-200 μm sjönk ca 10 procentenheter mellan steg 1 och 2. Obehandlat led hade klart lägst andel aggregat 20-200 μm , vilket tyder på att kalken gav resultat i övriga led så till vida att färre aggregat 20-200 μm bröts ned. Andelen aggregat 20-200 μm var statistiskt signifikant större i ledet med den stora givan släckt kalk jämfört med obehandlat led (tab 11). Andelen aggregat $<20\text{ }\mu\text{m}$ var klart större än i steg 1, men inga tydliga skillnader mellan leden fanns.

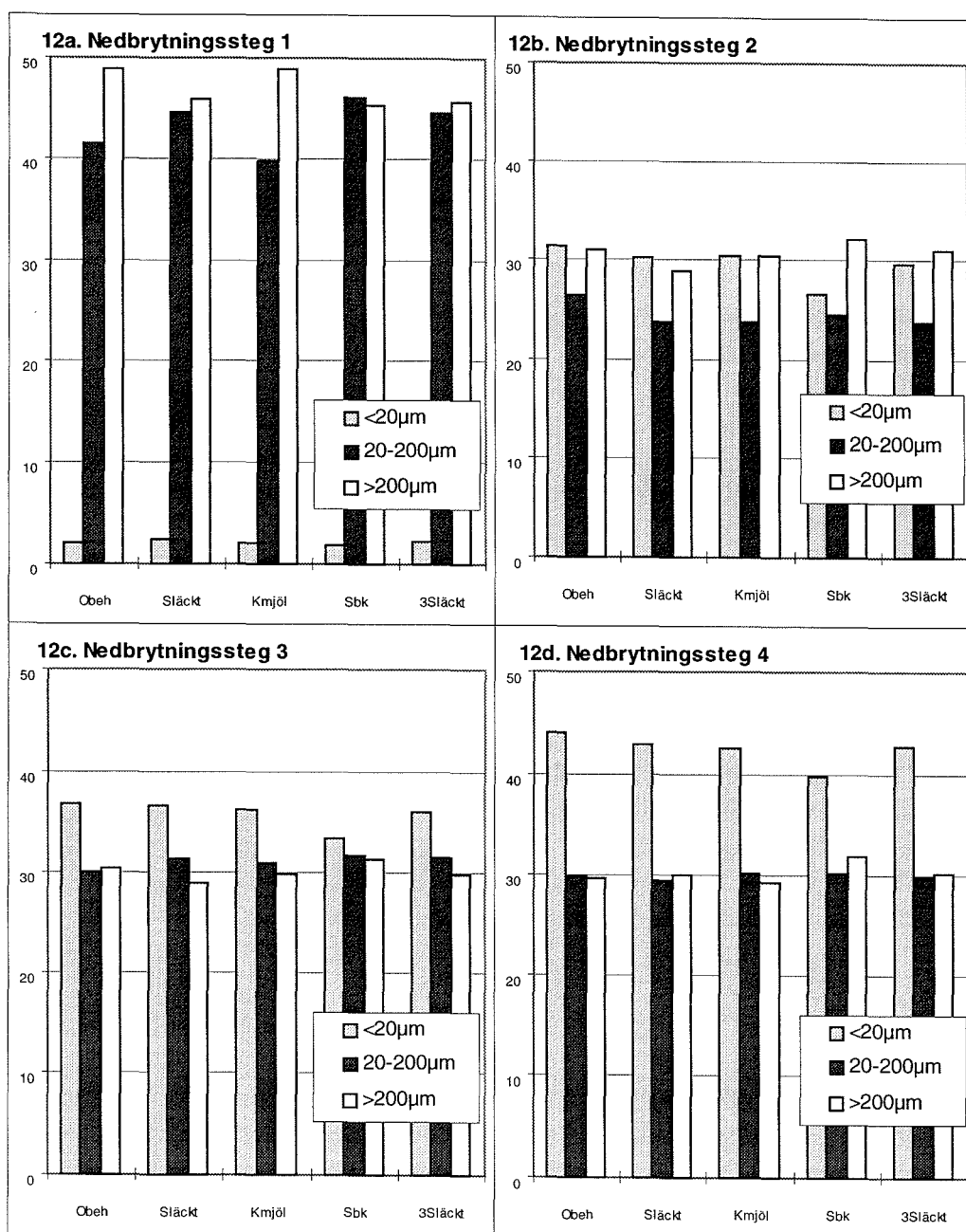
Steg 3 och steg 4. Här har skillnaderna mellan leden helt raderats ut i alla fraktionerna (fig 11c). Det verkar som att det organiska materialet var viktigt för att hålla samman de större aggregaten och att kalken delvis förlorade sin verkan när det organiska materialet försvann. Figur 11d visar att andelen aggregat $<20\text{ }\mu\text{m}$ ökade jämfört med steg 3. Det tyder på att de karbonater som fanns kvar efter steg 3, ensamma har haft en viss betydelse för aggregatens sammanbindning och stabilitet.

Emmylund

Steg 1. Figur 12a visar att variationen inom de två större fraktionerna var stor även på Emmylund. Andelen aggregat 20-200 μm var större i alla kalkade led utom det med kalkstensmjöl. Släckt kalk och sockerbrukskalk ökade alltså aggregatens stabilitet. Skillnaderna är tydliga men inte statistiskt säkerställda (tab 11).

Steg 2. Alla kalkade led hade lägre andel aggregat både 20-200 μm och $<20\text{ }\mu\text{m}$ i förhållande till okalkat led. Vad gäller aggregat 20-200 μm var det statistiskt säkert att så är fallet. Det tyder på att kalken gav stabilare aggregat $>200\text{ }\mu\text{m}$ och att dessa därför var svårare att bryta ned i kalkade led än obehandlat led. Bäst effekt i det avseendet verkar sockerbrukskalken haft, där också andelen aggregat $>200\text{ }\mu\text{m}$ var störst (fig 12b).

Steg 3 och 4. Även i steg 3 ser sockerbrukskalken ut att ha givit bäst effekt på aggregatens stabilitet (fig 12c). Om man ser på steg 4 som ju motsvarar primärpartiklarna, hade ledet med sockerbrukskalk även där lägst andel partiklar $<20\text{ }\mu\text{m}$ (fig 12d). Det tyder på att sockerbrukskalken inte har större effekt än övriga kalkningsmedel, utan att skillnaden beror på jordarten.

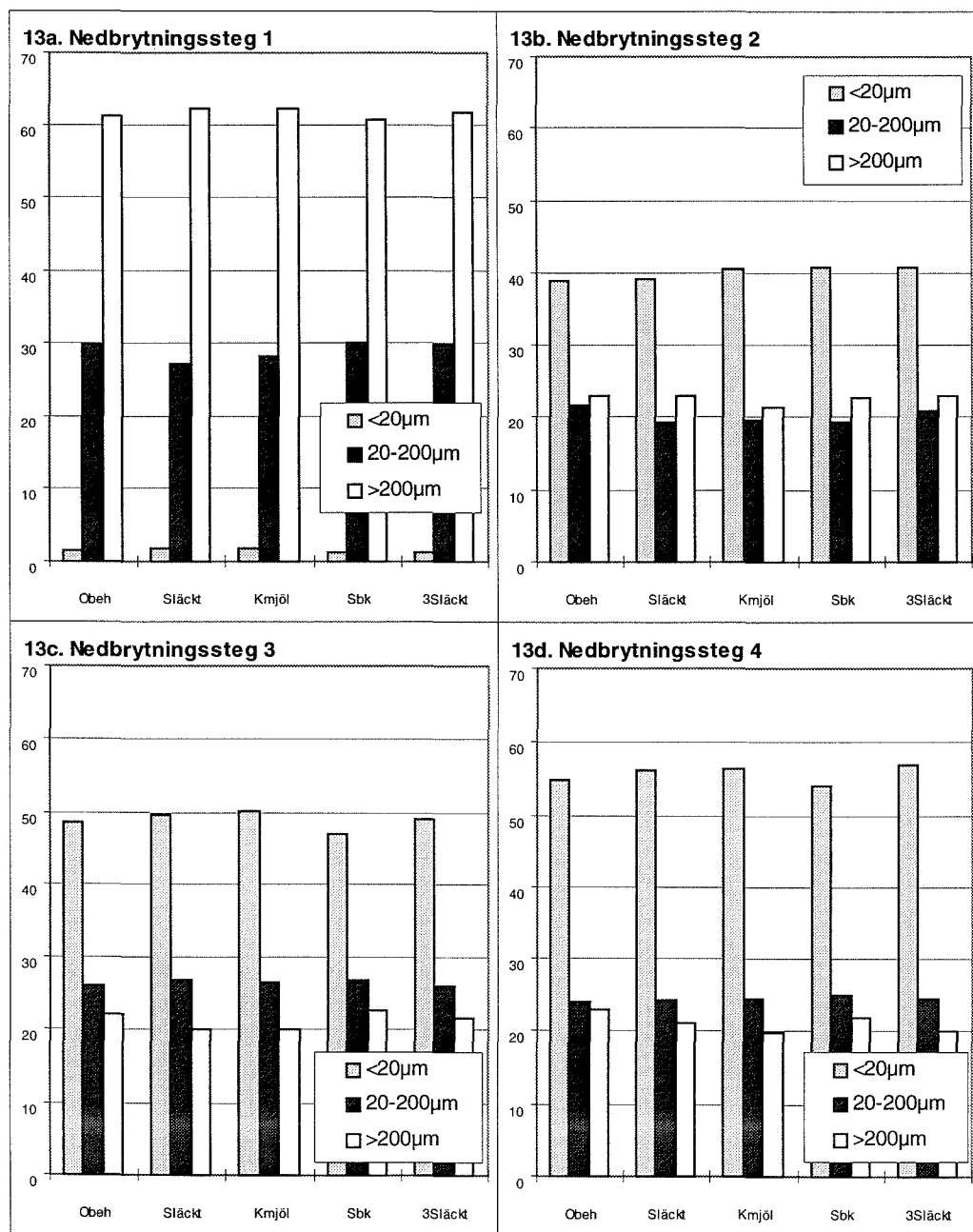


Figur 12. Aggregatens storleksfördelning efter de olika nedbrytningsstegen vid Emmylund, angiven i % av torrsubstansen.

Trulstorp

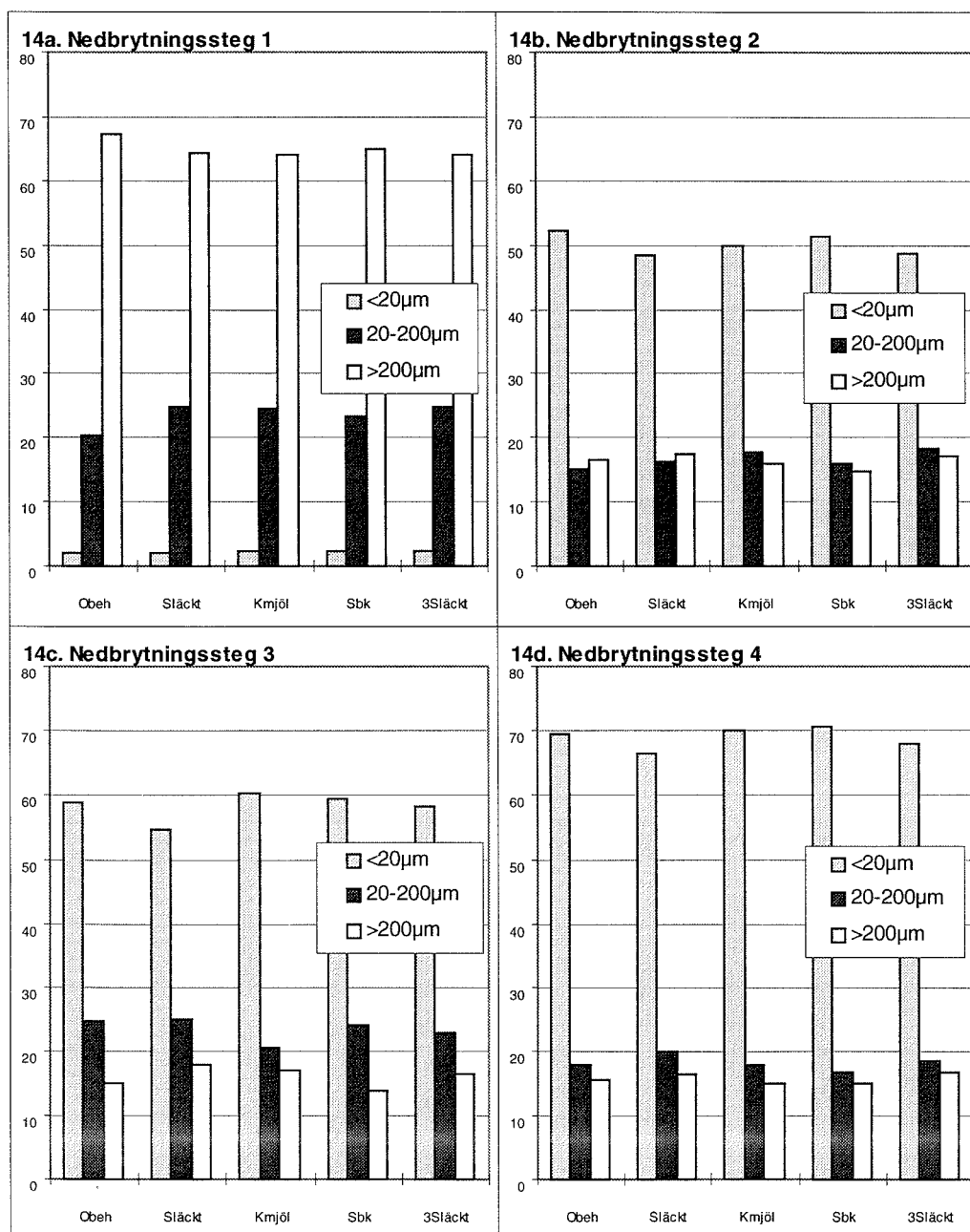
Steg 1. Trulstorp skiljde sig från de två tidigare platserna i steg 1 eftersom andelen aggregat $>200\ \mu\text{m}$ var dubbelt så stor som andelen aggregat $20\text{--}200\ \mu\text{m}$. Det beror på att lerhalten var så pass hög att stora aggregat här bildades lättare och var flera redan från början (fig 13a). Det ser även ut som att släckt kalk och kalkstensmjöl gav ökad aggregatstabilitet, eftersom andelen $>200\ \mu\text{m}$ var något större i dessa led. Sockerbrukskalken gav dock inte samma resultat. Inga statistiskt säkerställda skillnader fanns i detta steg.

Steg 2. I figur 13b syntes inga positiva effekter av kalkningsmedlen. Tvärtom var andelen aggregat $<20\ \mu\text{m}$ lägst i obehandlat led och högst vid den stora givan släckt kalk. Man kan se samma resultat i fraktionen 20-200 μm , där obehandlat led visade den största andelen. Skillnaderna var dock inte signifikanta och om man jämför figur 13b och 13d ser man att förhållandet mellan leden var ungefär detsamma i både steg 2 och 4, d.v.s. obehandlat led hade lägre andel aggregat $<20\ \mu\text{m}$ än övriga, vilket tyder på jordartsskillnader. Steg 1 och 2 sammantaget tyder på att kalken hade viss effekt vid mild mekanisk behandling, men inte alls vid kraftig mekanisk behandling.



Figur 13. Aggregatens storleksfördelning efter de olika nedbrytningsstegen vid Trulstorp, angiven i % av torrsubstansen.

Steg 3 och 4. Aggregatens storleksfördelning efter steg 3 var liknande den efter steg 4 om man ser till skillnader mellan leden (fig 13c och 13d). Mellan steg 3 och 4 ökade dock andelen små aggregat ($<20\ \mu\text{m}$) ytterligare medan andelen stora aggregat ($20\text{--}200\ \mu\text{m}$ och $>200\ \mu\text{m}$) minskade något. Det visar att jordens innehåll av karbonater, som togs bort i steg 4, hade en viss betydelse för aggregatens stabilitet. Däremot verkar det inte som att de karbonater som tillfördes med kalkstensmjölet och sockerbrukskalken hade någon större inverkan eftersom förhållandena mellan leden är desamma i både steg 3 och steg 4.



Figur 14. Aggregatens storleksfördelning efter de olika nedbrytningsstegen vid Plangården, angiven i % av torrsubstansen.

Planagården

Steg 1. Om man ser till andelen aggregat 20-200 μm fanns en tydlig ökning i kalkade led jämfört med okalkat (fig 14a). Släckt kalk (båda givorna) gav störst effekt. P.g.a. stor spridning mellan blocken (hög varianskoefficient) är dock resultaten inte statistiskt säkra. Också om man slår samman fraktionerna 20-200 μm och >200 μm gav kalken högre andel aggregat större än 20 μm , men endast andelen aggregat >200 μm är störst i obehandlat led och kalken har alltså inte givit någon effekt.

Steg 2. I figur 14b kan man se att andelen aggregat <20 μm var högst i okalkat led. Det tyder på att samtliga kalkningsmedel minskade nedbrytningen av aggregaten. Även här visade sig släckt kalk ge störst effekt. Andelen aggregat i fraktionen 20-200 μm var större i kalkade led än i obehandlat led och skillnaden var störst vid hög giva släckt kalk. Trots den relativt stora skillnaden mellan obehandlat led och stor giva släckt kalk var den inte statistiskt signifikant, även här p.g.a. alltför stor spridning mellan blocken. Signifikansnivån var ändå relativt hög (91,5%) och skillnaden är värd att noteras (tab 11).

Steg 3 och 4. På Planagården, liksom på övriga platser, var förhållandena mellan leden lika i steg 3 och 4 (fig 14c och 14d). Här var dock den kvantitativa skillnaden mellan stegen större än på övriga försöksplatser. Andelen aggregat <20 μm ökade med c:a 10 procentenheter mellan steg 3 och 4, vilket tyder på att karbonaterna hade större betydelse för aggregeringen här än på t.ex. Trulstorp. Eftersom fraktionernas förhållanden mellan leden var lika både i steg 2, 3 och 4 verkar kalkens effekt inte varit så stor som den verkar i steg 2, utan att den berodde på jordartsskillnader mellan leden.

Alla fyra försöken

Med utgångspunkt från att kalken har verkat positivt på jorden om få aggregat har brutits ned till mindre än 20 μm , kan en hög andel aggregat 20-200 μm betyda att aggregaten är stabilare jämfört med om andelen aggregat 20-200 μm är låg. Tabell 11 visar medelvärden från samtliga fyra försöksplatser, över andelen aggregat i fraktionen 20-200 μm efter mild respektive kraftig mekanisk behandling (steg 1 och 2). Där kan man se att efter mild mekanisk behandling hade obehandlat led lägst andel aggregat 20-200 μm . Den släckta kalken (både hög och låg giva) gav den största andelen aggregat 20-200 μm . Även efter kraftig mekanisk behandling fanns den minsta andelen aggregat 20-200 μm i det obehandlade ledet och stor giva släckt kalk gav störst andel aggregat 20-200 μm kvar.

Ingen av dessa skillnader var emellertid statistiskt säkerställd, bl.a. beroende på att skillnaderna var små och ibland helt olikvisande mellan platserna (t.ex. Trulstorp). På Ädelholm var dock ökningen av andelen aggregat 20-200 μm vid stor giva släckt kalk jämfört med obehandlat led statistiskt signifikant.

Tabell 11. Statistiska data, vad gäller andelen aggregat i fraktionen 20-200 µm efter mild respektive kraftig mekanisk behandling (Mild resp. Kraft.) på de olika försöksplatserna. Andelarna anges i % av ts, CV=variationskoefficient, LSD=minsta signifikanta skillnad vid 95% konfidensintervall, Sign.nivå=procentuell sannolikhet att största skillnaden mellan leden är verklig

	<u>Ädelholm</u>		<u>Emmylund</u>		<u>Trulstorp</u>		<u>Planagården</u>		<u>Medel</u>	
Behandling	Mild	Kraft	Mild	Kraft	Mild	Kraft	Mild	Kraft	Mild	Kraft
Obeh	48,1	31,3	41,5	26,4	29,8	21,8	20,5	15,0	35,0	23,6
Släckt	49,2	35,8	44,6	23,7	27,3	19,2	24,7	16,1	36,5	23,7
Kmjöl	47,9	35,3	39,8	23,8	28,1	19,7	24,4	17,7	35,1	24,1
Sbk	44,5	36,1	46,1	24,6	30,0	19,3	23,2	16,0	35,9	24,0
3 Släckt	46,2	37,5	44,6	23,8	29,9	20,9	24,7	18,4	36,3	25,1
CV	7,2	9,9	9,1	6,5	10,7	13,6	17,7	16,2	5,8	6,9
LSD 95%	5,2	5,4	6,1	2,4	4,8	4,2	6,4	4,2	3,2	2,6
Sign.nivå	93,0	97,2	95,6	96,5	74,6	78,3	82,5	90,5	68,2	78,2

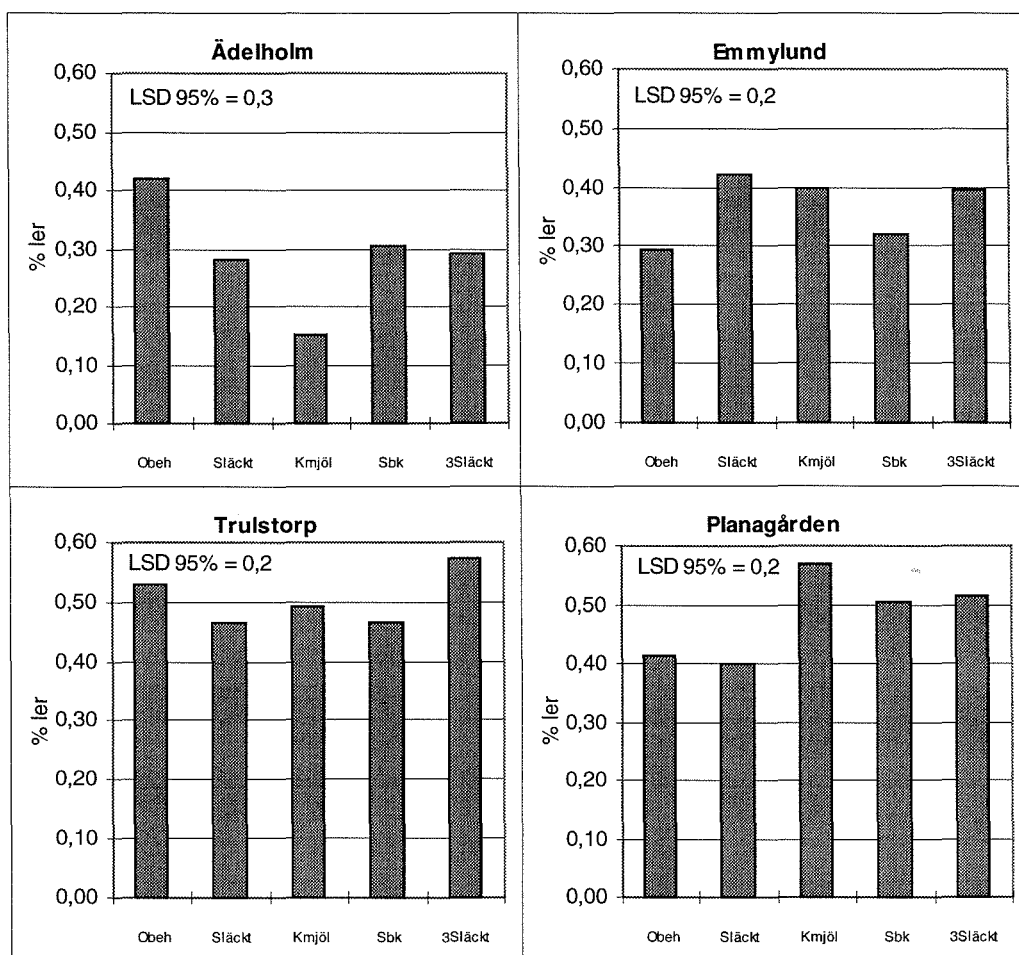
Aggregatstabilitet

Aggregatens stabilitet bedömdes genom att undersöka hur stor mängd markpartiklar av storleken <2 µm, eller med andra ord hur mycket ler, som frigjordes från aggregaten efter uppblötning och viss yttre påverkan. Ju mindre ler som frigjordes desto mer stabila var aggregaten. I denna studie mättes aggregatstabiliteten efter mild mekanisk behandling (nedbrytningssteg 1).

Resultaten var inte enhetliga på de olika försöksplatserna. På Ädelholm verkade kalken ha en viss effekt eftersom mindre mängd ler frigjordes från aggregaten i kalkade led jämfört med obehandlat led (fig 15). Kalkstensmjölet såg ut att ha gjort störst verkan och var för övrigt det enda kalkningsmedlet som gav skillnad med god statistisk signifikans. På Emmylund däremot var det i obehandlat led som leret hölls kvar bäst på aggregaten och kalken verkar närmast haft negativ inverkan på aggregatstabiliteten. Det finns dock inget statistiskt underlag för ett sådant påstående.

På Trulstorp hade leden med låga kalkgivor (Släckt, Kmjöl och Sbk) ökat aggregatstabiliteten jämfört med okalkat led, medan den högre kalkgivan (2 Släckt) minskade densamma. Skillnaderna var dock relativt små och spridningen mellan blocken var stor, vilket gör att den statistiska signifikansen är låg. På Planagården var resultatet liknande det på Emmylund och kalkningen visade inte några positiva effekter på aggregatstabiliteten.

Om man ser till alla försöksplatsernas sammanslagna medelvärden och dess statistiska beräkningar är det svårt att dra några slutsatser huruvida kalkningen skulle varit varken positiv eller negativ för aggregatstabiliteten, så som den är definierad här (tab 12). Det man kan säga är att aggregaten överlag varit stabila oavsett kalkningsmedel eller giva, d.v.s. att endast en bråkdel av det totala lerinnehållet frigjordes från aggregaten i samtliga led vid mild mekanisk behandling.



Figur 15. Aggregatstabilitet. Andelen ler som frigjorts efter mild mekanisk behandling (nedbrytningssteg 1) vid respektive försöksplats, uttryckt i % av torrsubstansen. LSD 95% anger minsta signifikanta skillnad vid 95% konfidensintervall.

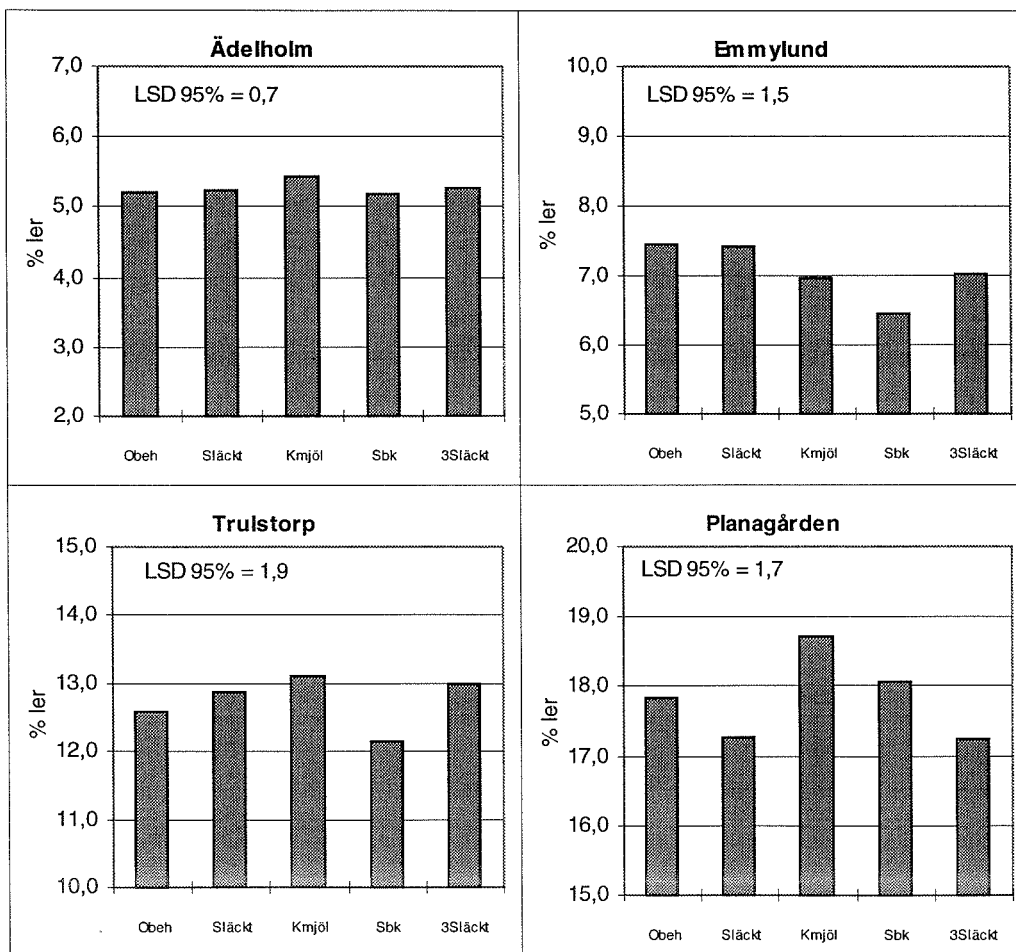
Tabell 12. Mängd frigjord ler efter mild respektive kraftig mekanisk behandling, angivet i % ler av provets torrsubstans. Medelvärden från samtliga fyra försöksplatser. CV=variationskoefficient, LSD=minsta signifikanta skillnad vid 95% konfidensintervall, Signifikansnivå=procentuell sannolikhet att största skillnaden mellan leden är verklig

Behandling	% ler, mild mek. nedbr.	% ler, kraftig mek. nedbr.
Obeh	0,42	10,8
Släckt	0,39	10,7
Kmjöl	0,40	11,1
Sbk	0,40	10,5
3 Släckt	0,44	10,6
CV	18,7	3,8
LSD 95%	0,1	0,6
Signifikansnivå	63,8	93,7

Dispergerbart ler

Dispergerbart ler kan definieras som den mängd ler som kan frigöras från aggregaten under enbart mekanisk påverkan. I denna studie motsvarades detta av den kraftiga mekaniska behandlingen (nedbrytningssteg 2), som kan anses vara maximal mekanisk påverkan. Även här var stabila aggregat önskvärt och en liten mängd dispergerbart ler att föredra.

I likhet med aggregatstabiliteten visade det dispergerbara leret varierande resultat på de olika försöksplatserna. På Ädelholm var mängden frigjord ler relativt lika mellan leden, men kalkade led visade på en något större, dock ej signifikant mängd dispergerbart ler jämfört med okalkat led (fig 16). Kalken minskade alltså inte det dispergerbara leret. På Emmylund däremot hade obehandlat led störst mängd dispergerbart ler och kalkningen verkar här ha givit effekt. Sockerbrukskalken visade det bästa resultatet, medan den låga givan släckt kalk hade lika stor mängd dispergerbar ler som obehandlat led. Inte heller här var skillnaderna statistiskt säkerställda.



Figur 16. Dispergerbart ler. Andelen ler som frigjorts efter kraftig mekanisk behandling (nedbrytningssteg 2) vid respektive försöksplats, uttryckt i % av torrsubstansen. LSD 95% anger minsta signifikanta skillnad vid 95% konfidensintervall. Observera skalskillnaderna i de olika diagrammen.

Sockerbrukskalken gav det bästa resultatet även på Trulstorp, där den var det enda kalkningsmedlet som minskade det dispergerbara leret i förhållande till okalkat led. På Planagården ser det i stället ut som att det enda kalkningsmedlet som gav någon positiv effekt var den släckta kalken. Båda givorna släckt kalk gav mindre mängd dispergerbart ler än obehandlat led. Varken på Trulstorp eller Planagården hade skillnaderna mellan leden statistisk signifikans.

Det verkar som att kalkning i detta försök spelat en liten eller ingen roll för lerets dispergering från aggregaten. Vid sammanslagning av samtliga fyra försöksplatser fanns heller inga signifikanta skillnader mellan de olika behandlingarna (tab 12), även om obehandlat led hade något större mängd dispergerbart ler jämfört med alla kalkningsmedel utom sockerbrukskalken.

Skörderesultat

Både rotskörd och sockerskörd var högre i samtliga kalkade led jämfört med obehandlat led, om man ser till medelvärden från alla fyra försöksplatserna (tab 13). Inte oväntat gav hög giva släckt kalk den största skördeökningen på 10%, vilken också var den enda skillnaden som var statistiskt säkerställd. Även den låga givan släckt kalk gav goda skörderesultat, medan kalkstensmjölet och sockerbrukskalken gav låg, men ändå en viss skördeökning. Detta är helt enligt förväntade resultat eftersom både kalkstensmjölet och sockerbrukskalken till största delen innehåller CaCO_3 som är ett långsamverkande strukturförbättrande medel och släckt kalk innehåller stor del fri kalk, vilket ger ett snabbare och effektivare förlopp.

Tabell 13. Sockerbetsskörden hösten 1998. Medelvärden från samtliga försöksplatser (Ådelholm, Emmylund, Trulstorp och Planagården). CV=variationskoefficient, LSD= minsta signifikanta skillnad vid 95% konfidensintervall, Signifikansnivå= procentuell sannolikhet att största skillnaden mellan leden är verklig

Behandling	Ren rotvikt ton/ha	Ren rotvikt rel. tal	Utvinnbart socker ton/ha	Utvinnbart socker rel. tal
Obehandlat	52,0	100	8,60	100
Släckt kalk 3 t/ha	54,5	105	9,02	105
Kalkstensmjöl 4 t/ha	52,9	102	8,75	102
Sockerbrukskalk 8 t/ha	53,6	103	8,79	102
Släckt kalk 9 t/ha	57,6	111	9,46	110
CV	3,5	-	3,8	-
LSD 95%	2,9	-	0,52	-
Signifikansnivå	99,9	-	99,7	-

Om man ser till de enskilda försöksplatserna för sig gav Planagården den största skördeökningen på 21% vad gäller sockersköörden i led kalkade med hög giva släckt kalk (tab 14). Även på övriga försök gav släckt kalk betydande skördeökningar, framför allt vid den höga givan. Skillnaderna mellan obehandlat led och hög giva

släckt kalk var statistiskt signifikanta vid Ädelholm och Planagården. Den släckta kalken gav alltså god skördeeffekt både på lättlera och styv lera, även om man kan konstatera att skördeökningen blev störst vid den högsta lerhalten (Planagården). Kalkens struktureffekter är också tydligast under extrema förhållanden med stora regnmängder under växtsäsongen, vilket var fallet på Planagården detta år.

På Trulstorp kan den enda negativa tendensen ses, eftersom kalkstensmjöl och sockerbrukskalk gav lägre sockerskörd än obehandlat led. Någon anledning till detta är svår att finna. Skördesänkningarna på Trulstorp ligger dock inom felmarginalen och är alltså inte säkerställda.

Tabell 14. Sockerbetsskördarna vid respektive försöksplats, angivet som utvinnbart socker. CV=variationskoefficient, LSD=minsta signifikanta skillnad vid 95% konfidensintervall, Sign. nivå=signifikansnivå, d.v.s. procentuell sannolikhet att den största skillnaden mellan leden är verklig

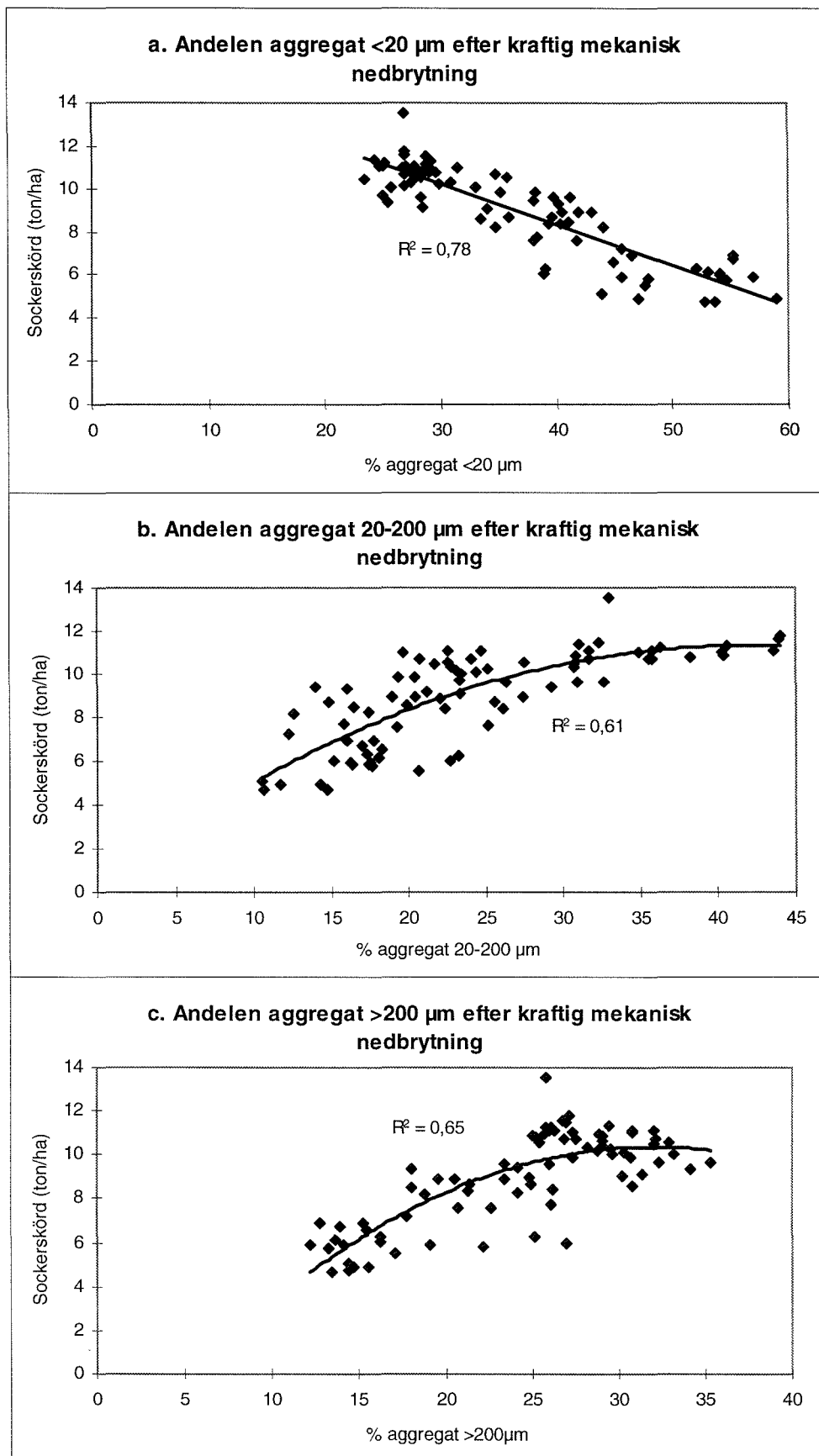
Behandling	Ädelholm		Emmylund		Trulstorp		Planagården	
	ton/ha	rel. tal	ton/ha	rel. tal	ton/ha	rel. tal	ton/ha	rel. tal
Obeh	10,88	100	9,73	100	8,45	100	5,34	100
Släckt	10,95	101	10,48	108	8,92	105	5,75	108
Kmjöl	10,86	100	10,24	105	8,35	99	5,55	104
Sbk	11,05	102	10,15	104	7,86	93	6,12	114
3 Släckt	12,04	111	10,16	104	9,19	109	6,45	121
CV	4,6	-	6,7	-	6,40	-	8,5	-
LSD 95%	0,78	-	1,05	-	0,84	-	0,76	-
Sign. nivå	99,3	-	85,7	-	99,5	-	99,2	-

Samband mellan skörd och stabila mikroaggregat

Resultaten i aggregatanalysen visade, speciellt på Planagården och Ädelholm, att kalken stabiliserade mikroaggregaten. Kalken hade också en positiv effekt på skörden. Det ger en antydning om att det finns ett samband mellan andelen stabila mikroaggregat och skörden. En regressionsanalys utförd parcellvis bekräftar detta.

Figur 17a visar att markpartiklar och aggregat som var mindre än 20 µm inverkar negativt på skördenivån. Det betyder att om aggregaten som är större än 20 µm faller sönder och bryts ned i alltför stor utsträckning blir andelen aggregat <20 µm för stor och markskiktet för kompakt, vilket leder till försämrade rotmiljö och sämre tillväxt.

Mikroaggregaten i storleksintervallet 20-200 µm har i denna undersökning bedömts vara de mest fördelaktiga (Oades, 1984; Dexter, 1988) och därför önskvärda att stabilisera. Figur 17b visar att en stor andel stabila mikroaggregat (20-200 µm) efter kraftig mekanisk nedbrytning, korrelerade med en hög sockerskörd. Med andra ord kan stabila mikroaggregat förbättra betrotens tillväxtmiljö och i slutändan leda till högre skörd. Även andelen stabila aggregat >200 µm verkade ha positiv inverkan på

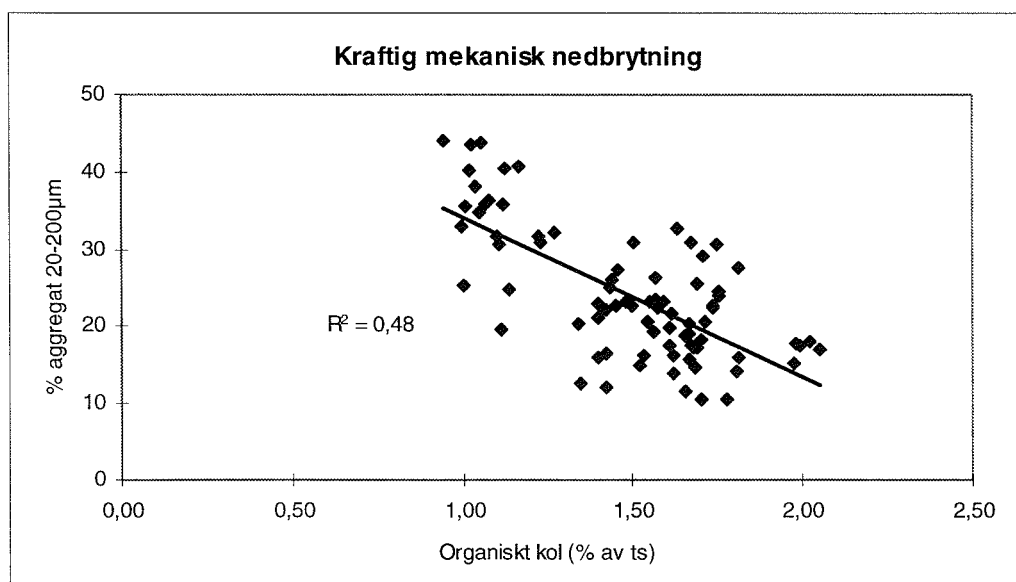


Figur 17. Regressionsanalys. Socker skördens beroende av de olika storleksfraktionerna hos aggregaten vid kraftig mekanisk nedbrytning.

sockerskörden (fig 17c). Både andelen aggregat i storleksklasserna 20-200 μm och $>200 \mu\text{m}$ ser ut att gå mot ett optimum, vilket tyder på att aggregat behöver finnas i båda storleksklasserna. Graferna i figur 17 kan tolkas så att den optimala fördelningen av aggregaten är omkring 40% av vardera storleksklasserna 20-200 μm och $>200 \mu\text{m}$. Även om det inte framgår av figur 17a, så finns det förmodligen också en optimal mängd av aggregat $<20 \mu\text{m}$.

Det organiska materialet har stor betydelse för aggregatens bildning och stabilitet. Vanligtvis har dock det organiska materialet störst betydelse för de större aggregaten. I figur 18, som visar det organiska materialets betydelse för mängden stabila mikroaggregat (20-200 μm), kan man se att en hög halt av organiskt bundet kol (d.v.s. en hög mullhalt) minskade andelen stabila mikroaggregat efter kraftig mekanisk nedbrytning. Det tyder på att det organiska materialet i dessa försök hade störst inverkan på stabiliteten hos makroaggregaten $>200 \mu\text{m}$ och snarare en dispergerande än aggregerande verkan på mikroaggregaten 20-200 μm .

Eftersom det organiska materialet inte påverkade mikroaggregatens stabilitet positivt, finns det skäl att tro att det var kalken som stabiliserade aggregaten. Speciellt den släckta kalken bidrog till att aggregaten inte lika lätt bröts ned, vilket i sin tur ledde till bättre förutsättningar för en god markstruktur under växtsäsongen.



Figur 18. Regressionsanalys. Det organiska materialets betydelse för mikroaggregatens (20-200 μm) stabilitet.

DISKUSSION

Analysmetoden

Metoden för att undersöka aggregatens stabilitet med hjälp av nedbrytning i fyra steg med ökande intensitet har inte fullt ut fungerat problemfritt. Metodens utförande är sammansatt utgående från ett flertal litteraturuppgifter och beskrivningar av liknande analyser (Churchman & Tate, 1986) samt praktiska möjligheter på laboratoriet. Den har endast använts vid SLU vid ett fåtal tillfällen tidigare. Eftersom det varit svårt att utläsa några tydliga skillnader mellan de olika behandlingsleden finns det anledning att se närmare på metoden för att hitta källor till fel.

Våtsiktningen

Vid våtsiktningen spolas aggregaten med en mild vattenstråle genom siktar med olika maskvidd (2; 0,6; 0,2 och 0,06 mm). Då detta sker kan en del av aggregaten falla sönder ytterligare och den uppmätta mängden av framför allt aggregaten i de större storleksfraktionerna kan på så vis bli mindre än i det ursprungliga provet. Detta är särskilt påtagligt efter nedbrytningssteg 1, då våtsiktningen kan ge upphov till större aggregatnedbrytning än själva behandlingen. Fenomenet påverkar emellertid inte pipettanalysen som genomförs före våtsiktningen, varför de finare fraktionerna (<0,06 mm) inte visar några fel i detta avseende.

I steg 1 och framför allt steg 2 var det svårt att få fraktionernas andelar att stämma. Vid summering av dem borde resultatet bli 100%, men så var inte alltid fallet. En viss förlust av material sker vid pipetteringen eftersom en del av jordmaterialet då tas bort vid provtagningarna. Denna förlust är dock mycket liten och eftersom det endast rör sig om de finare fraktionerna uppstår inga fel vid våtsiktningen på grund av detta. Återigen står felet att hitta vid våtsiktningen, dels beroende på ovan beskrivna fenomenen med ytterligare nedbrytning, dels beroende på det organiska materialet. Under våtsiktningen låter man det fasta materialet sjunka till botten i en skål och håller sedan av vattnet. Vid denna procedur flyter de större bitarna av organiskt material upp till ytan och det är omöjligt att undvika att en stor del av det följer med ut i vasken då vattnet hålls av. Det leder till en viss viktförlust som är störst efter nedbrytningssteg 2, eftersom det organiska materialet inte sitter fast i lika många aggregat som efter steg 1, men allt det organiska materialet finns ändå kvar i provet vilket det inte gör efter steg 3.

Lerfraktionen

Andelen ler som frigjorts från aggregaten har använts som ett mått på aggregatstabiliteten. Efter nedbrytningssteg 1 är andelen frigjord ler så liten att resultaten blir mycket osäkra. Vid pipettanalysen var lerfraktionen i vissa fall mindre än 0,001 g av de 20 g som analyserades, vilket gör osäkerheten stor då den använda vågens felmarginal var $\pm 0,0005$ g. Vid övriga nedbrytningssteg är dock lerfraktionerna större och felet blir inte lika stort.

Efter nedbrytningssteg 3 som inte behandlats så utförligt i resultatdelen, oxideras det organiska materialet med väteperoxid före skakningen. Eftersom aggregatens stabilitet till stor del beror på det organiska materialet var det att vänta att aggregaten skulle brytas ned ytterligare och att mer ler skulle frigöras jämfört med steg 2. Så var också fallet i de flesta av proven, men på vissa försöksplatser och i vissa block blev det annorlunda. Tabell 15 visar andelen frigjord ler, block- och ledvis efter nedbrytningssteg 3 på Trulstorp och Emmylund. Liknande resultat kunde till viss del noteras även på Planagården. Två av blocken (I och IV) vid Trulstorp skiljde sig markant från de andra två på så vis att mängden frigjord ler var klart lägre. I block I och IV minskade dessutom mängden ler i steg 3 jämfört med steg 2, medan den som väntat ökade i block II och III. Vid Emmylund var det endast block I som gav större andel frigjord ler i steg 3 jämfört med steg 2.

Det verkar som om det organiska materialet i block I och IV vid Trulstorp och block II-IV vid Emmylund, hade en dispergerande funktion snarare än aggregerande. Detta kan ske eftersom organiska anjoner kan bindas till lerets negativt laddade yta via positiva Fe- eller Al-joner. På så vis ökar lerpartiklarnas negativa laddning och därmed även det diffusa dubbelskiktets tjocklek, vilket gör att möjligheten till dispergering ökar (Oades, 1984). Resultaten av regressionsanalysen av det organiska materialets betydelse för mikroaggregatens stabilitet (fig 18, sid 46) styrker denna teori, eftersom även den visar på det organiska materialets dispergerande funktion.

Skillnaderna uppstår blockvis och det finns skäl att tro att de beror på jordartsskillnader av något slag. En förklaring kan vara att lermineralens uppbyggnad är olika i de olika blocken. I en undersökning utförd av Churchman & Tate (1986), där fält med olika kända lermineral studerades, fann man att vissa lermineral gjorde att det organiska materialet ökade dispergeringen medan andra gjorde att det minskade densamma. Även där oxiderades det organiska materialet med väteperoxid (H_2O_2) och de lerpartiklar som var bundna till materialet frigjordes. En typ av lermineral (i detta fall allofan) bands därefter omedelbart till varandra eller till silt- och sandpartiklar,

Tabell 15. Trulstorp och Emmylund. Mängden ler efter nedbrytningssteg 3, angiven i % av torrsubstansen. Org-C anger halten organiskt bundet kol i obehandlat led (% av torrsubstansen)

Trulstorp	Obeh	Släckt	Kmjöl	Sbk	3 Släckt	Org-C
Block I	3,9	3,2	3,4	2,1	2,6	1,46
Block II	19,9	19,6	23,0	19,6	14,2	1,69
Block III	20,2	19,2	19,5	15,0	16,9	1,67
Block IV	2,9	5,0	3,7	8,3	4,3	1,52
Emmylund						
Block I	15,1	15,8	16,1	16,3	16,5	1,00
Block II	3,3	2,3	2,2	4,9	4,8	1,59
Block III	2,3	2,2	3,9	5,4	1,9	1,75
Block IV	1,4	1,3	1,1	1,6	0,9	1,63

vilket gjorde att aggregeringen i stället ökade, jämfört med enbart mekanisk nedbrytning (Churchman & Tate, 1986). I detta fall spelade lermineraltypen en större roll

för aggregeringen än det organiska materialet. Olika lermineral i blocken i kombination med Al- och Fe-bindningar mellan organiskt material och lermineral kan ha medverkat till resultaten i detta försök. Här har dock inte lermineralen analyserats, varför det inte kan visas att så är fallet. Ett sätt att förhindra detta fenomen kunde ha varit att tillföra dispergeringsmedel även i nedbrytningssteg 3. Det skulle kunna förhindrat återflockuleringen av lerpartiklarna så att samtliga block hade givit ytterligare frigöring av ler från aggregaten i steg 3 jämfört med steg 2.

Även jordens mullhalt kan ha påverkat analysmetoden. På Emmylund var halten organiskt bundet kol betydligt lägre i block I, där resultaten blev som de förväntade, med hög andel frigjord ler efter steg 3 (tab 15). Ett lågt innehåll av organiskt material innebär att skillnaden mellan nedbrytningssteg 2 och 3 (kraftig mekanisk nedbrytning, resp. oxidation av organiskt material) blir mindre. Man kan därför tänka sig att en del av minskningen av frigjord ler mellan steg 2 och 3 i block II-IV vid Emmylund, berodde på den högre mullhalten, jämfört med block I. Denna teori faller dock om man ser på mullhalterna vid Trulstorp, där de förväntade, höga värdena på frigjord ler (block II och III) motsvaras av de lägre halterna organiskt bundet kol. Dessutom är blockskillnaderna i organiskt kol mindre vid Trulstorp än vid Emmylund, vilket tyder på att mullhalten spelar en mindre roll då detta analysfel uppstår.

Försökens heterogenitet

För att man tydligt ska kunna analysera enbart kalkens inverkan på markens struktur är det viktigt att försöksplatsen är så homogen som möjligt, d.v.s. att förutsättningarna är lika över hela försöket och att det endast är de olika kalkningarna som skiljer försöksrutorna åt. I denna undersökning framkom det i analyserna att försöksplatserna inte alltid var så homogena som man kunde önskat. Stora jordartsskillnader kunde uppmätas bl.a. vad gäller lerhalt, mullhalt och pH.

Det enda av försöken som visade likvärdiga lerhalter i försöksrutorna var Ädelholm, där den största skillnaden i lerhalt mellan två rutor var endast tre procentenheter (tab 3, sid 15). På övriga platser var den största skillnaden över 10 procentenheter och på Planagården t.o.m. 17 procentenheter. Variationen fanns framför allt mellan blocken, men även inom blocken fanns skillnader. Även halten organiskt kol varierade stort mellan blocken, framför allt vid Emmylund och Planagården (tab 10, sid 31). Eftersom lerhalten och mullhalten är de viktigaste faktorerna som påverkar aggregatens uppbyggnad och stabilisering, är det högst troligt att försöksplatsernas heterogenitet påverkade utfallet i aggregatanalyserna. Variationen kan vara en orsak till att resultaten i vissa fall blev otydliga och framför allt olika vid jämförelse mellan de olika platserna.

Vid utläggningen av försöken var tanken att ingen av platserna skulle ha något kemiskt behov av kalkning. Så var också fallet i de flesta försöksrutorna, men variationen var relativt stor även i pH. Vid pH-mätningen som finns redovisad i tabell 9 (sid 30), framgick att största skillnaderna mellan blocken i obehandlade led var omkring en pH-enhet eller mer på alla försöksplatser utom Planagården, där skillnaden var något mindre. Dessutom var pH i vissa block lägre i de kalkade leden än i obehandlat led, vilket tyder på att det funnits betydande skillnader före kalkningen

även inom blocken. Detta kan ha påverkat resultaten, framför allt vad gäller skörden, då kalken givit en viss kemisk effekt i de försöksrutor med lågt utgångs-pH, som överskuggar de rent fysikaliska fördelarna. Figur 10 (sid 32) som visar skördens beroende av pH, tyder dock på att variationerna i pH inte påverkat skörderesultaten.

Överensstämmelse med förväntade resultat

De resultat man kunde förvänta sig var att aggregaten skulle vara stabilare i leden som kalkats vid jämförelse med okalkade led. Med andra ord borde mängden dispergerbart ler vara lägre i kalkade led och andelen mikroaggregat (20-200 μm) borde varit större i kalkade led. Kalkens effekt borde också öka med lerhalten, d.v.s. försökets mellanleror borde visa tydligare resultat än lättlerorna. Resultaten visar också detta till viss del, men skillnaderna är signifikanta bara vid enstaka tillfällen och ibland har värdena varit tvärt emot de förväntade resultaten.

Med tanke på de stora nederbördsmängder som föll i Skåne, både under våren, före sådd och under resten av växtsäsongen borde kalken ge extra stort utslag detta år. Mycket regn och vatten under växtsäsongen gör att marken som tillväxtplats för växtrötter sätts på prov och en god markstruktur är extra viktig. Problemet med skorpbildning och efterföljande allmänt förhårdnande är störst i mo- och mjälajordar men förekommer även på medelstyva jordar om deras struktur har förstörts under större regn eller långvarig vattenmättnad (Heinonen, 1982). Man kan säga att denna undersöknings nedbrytningssteg 1 motsvarar en längre tids vattenmättnad och nedbrytningssteg 2 ett kraftigt regn. Kalken kan bidra till att aggregaten blir stabilare och därmed mer tåliga för sådana strukturförstörande processer.

Vad gäller mikroaggregaten (20-200 μm) visar denna studie att kalken har stabiliserat dessa, så till vida att det finns större andel av dem kvar efter både mild och kraftig mekanisk nedbrytning. Även om det inte är statistiskt säkerställt kan detta vara en orsak till de tydliga skördeökningarna i kalkade led. Framför allt den höga givan släckt kalk har gjort att mikroaggregaten bättre stått emot de påfrestningar som de utsatts för under växtsäsongen. Det finns även en relativt god överensstämmelse mellan vilka platser som haft de största skördeökningarna och vilka som haft störst andel stabila mikroaggregat. På Planagården var skördeökningen (utvinnbart socker) vid hög giva släckt kalk hela 21% jämfört med obehandlat led och vid samma jämförelse av andelen stabila mikroaggregat var ökningen över 20% (dock ej signifikant) efter både mild och kraftig mekanisk behandling (steg 1 och 2). På Ädelholm som hade den näst största skördeökningen (11%) var andelen stabila aggregat efter kraftig mekanisk behandling (steg 2) signifikant 20% större vid tillförsel av stor giva släckt kalk än utan behandling. Regressionen mellan skörd och stabila mikroaggregat (fig 17, sid 45) bekräftar att en hög andel stabila mikroaggregat ökar skördenivån, vilket tyder på att det till stor del är just mikroaggregatens stabilitet som bidragit till skördeökningarna.

Detta visar att tillförsel av släckt kalk kan ge ökade skördar i sockerbetsodling både i mellanlera och lättlera. Dessutom syns effekterna både vid extrema (Planagården) och mer normala regnmängder (Ädelholm). Skördeökningen uppkommer till följd av att mikroaggregaten stabiliseras av kalken och markens struktur förbättras och bevaras i

större utsträckning vid yttre påverkan i form av kraftiga regnväder och vattenmättade jordar. Viktigt att komma ihåg är att kalken inte nämnvärt bygger upp förstörd struktur, utan stabiliserar och bevarar redan existerande god struktur.

Det sistnämnda kan också vara en anledning till att inga skillnader kunde hittas mellan leden i såbäddens aggregatstorleksfördelning i fält. Där rör det sig om relativt stora aggregat och enbart makroaggregat och för dessa har bl.a. det organiska materialet större betydelse för uppbyggnad och stabilitet än kalken. Alltså är inga skillnader mellan leden egentligen att vänta och vårbearbetningen sönderdelar kokor och aggregat lika effektivt både i kalkade och okalkade led. Däremot är de mikroaggregat som finns och bildas under vårbruket (och här finns i fraktionen <2 mm) stabilare i kalkade led, vilket ger gynnsamma effekter i den fortsatta växtsäsongen.

Resultatet av vattenhaltsbestämningarna före sådd visar att upptorkningen på våren var snabbare i kalkade led och för att utnyttja kalkens positiva effekter på strukturen fullt ut borde de kalkade försöksrutorna såtts tidigare. Detta hade varit möjligt p.g.a. den torrare jorden i de kalkade leden, som var bearbetningsbara tidigare. Tidigare sådd hade givit sockerbetorna längre tillväxtperiod och kanske hade skördeökningarna varit ännu större. Med tanke på detta borde dessa kalkförsök kompletteras med olika såtider, eftersom det finns anledning att tro att kalken har större effekt vid tidig sådd och framför allt att den möjliggör tidig sådd.

Slutsatser

Flera av slutsatserna är inte statistiskt säkerställda och en del grundar sig enbart på förhållanden som infunnit sig på en eller två av försöksplatserna under ett år. Med de förutsättningarna kan följande slutsatser dras utifrån de resultat som framkommit i denna undersökning:

- Förbättrad markstruktur kan ge betydande skördeökningar vid sockerbetsodling. Tillförsel av kalk kan bidra till denna förbättring genom att bevara god struktur över hela tillväxtperioden. Detta gäller framför allt höga givor släckt kalk på lerjordar.
- Stora givor släckt kalk kan ge förbättrad upptorkning i markens ytskikt (0-10 cm) på våren, före vårbruket. Det gör att man tidigare kan komma ut på fälten och tidigare börja med vårbruket.
- Andelen stabila mikroaggregat (20-200 µm) ökar i markens ytskikt vid tillförsel av släckt kalk. Detta ger bättre förutsättningar för marken att behålla sin goda struktur även under inverkan av yttre påverkan såsom kraftiga regn eller vattenmättnad.
- Kalk kan minska mängden dispergerbart ler från aggregaten i markens ytskikt något, d.v.s. aggregaten blir stabilare vid tillförsel av kalk.
- Kalken påverkar inte aggregatstorleksfördelningen i såbädden i fält eller penetrationsmotståndet i matjorden.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Assarson, K.G. 1972. Stabilisering och jordförstärkning med kalk. Cement och Betong 1972:1, 23-39.
- Baldock, J.A., Aoyama, M., Oades, J.M., Susanto & Grant, C.D. 1994. Structural Amelioration of a South Australian Red-brown Earth using Calcium and Organic Amendments. Aust. J. Soil Res., 32: 571-594.
- Berglund, G. 1971. Kalkens inverkan på jordens struktur. Lantbrukshögskolan, Inst. för lantbrukets hydroteknik. Grundförbättring 1971:2, 81-93.
- Berglund, G. Opublicerad. Kalken och jordstrukturen. Kompendium använt vid föreläsningar vid Inst. för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, 1970-1980.
- Churchman, G.J. & Tate, K.R. 1986. Aggregation of clay in six New Zealand soil types as measured by disaggregation procedures. Geoderma, 37: 207-220.
- Dexter, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. Soil & Tillage Research, 11: 199-238.
- Göransson, C.G. & Sperlingsson C. 1997. Ny satsning av Samarbetskommittén: Tillväxt Till Tio Ton. Betodlaren nr 2, 19-21.
- Hammar, O. 1987. Vårbruk. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 362, Mark-Växter.
- Heinonen, R. 1975. Jordarterna och deras brukningsegenskaper. Lantbrukshögskolans meddelanden B 23. Lantbrukshögskolan, Uppsala.
- Heinonen, R. 1982. Jordens igenslamning och förhårdnande. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Speciella skrifter 12.
- Heinonen, R. 1985. Markstrukturbildningens teori. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Fakta - mark/växter, nr 27.
- Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press inc. New York.
- Kritz, G. 1983. Såbäddar för vårstråsäd. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, nr 65.
- Ljung, G. 1987. Mekanisk analys, beskrivning av en rationell metod för jordartsbestämning. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avdelningsmeddelande 87:2.
- Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. Plant and Soil 76: 319-337.
- Oades, J.M. & Waters, A.G. 1991. Aggregate Hierarchy in Soils. Aust. J. Soil Res. 29: 815-828.
- Tisdall, J.M. & Oades J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science 33: 141-163.
- Walkley, A. & Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method of determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
- Wiklander, L. 1976. Marklära. Lantbrukshögskolan, Uppsala.

Personligt meddelande

Berglund, Kerstin. 1998. Forskare, Agr. D. Inst. för markvetenskap, SLU, Uppsala.

Markdata

Plats	Mullhalt		Ler (tot)		Ler (<1µ)		Sand+grovm	Jordart	Volymvikt kg/dm3	CEC me/100g	Basmåttnad		Ber. kalkbeh. ton CaO/ha
	%	%	%	%	%	%	me/100g				%		
Ädelholm	1,9	15	14	56	mf sa LL	1,3	12,2		12,2	>80	0		
Emmylund	2,5	17	15	56	nmh sa LL	1,3	13,6		13,6	>80	0		
Trulstorp	2,5	31	29	35	nmh ML	1,3	19,6		19,6	>80	0		
Planagården	2,5	39	37	25	nmh ML	1,3	23,5		23,5	>80	0		

Plats	pH	AL-analys (mg/100g jord)					HCl-analys (mg/100g jord)					
		P	Klass	K	Klass	Mg	K/Mg	Ca	K	Klass	Cu	B
Ädelholm	7,7	12	IV	8,2	III	8,7	0,94	360	128	III	11	1,2
Emmylund	7,4	8,2	IV	7,3	II	11	0,66	380	45	I	9	1,4
Trulstorp	7,9	8,1	IV	14	III	31	0,45	870	262	IV	17	1,4
Planagården	7,8	5,9	III	18	IV	30	0,60	640	323	IV	18	1,2

Väderdata**Nederbörd**

Observationsplats	April mm	Antal dygn	Maj mm	Antal dygn	Juni mm	Antal dygn	Juli mm	Antal dygn	Augusti mm	Antal dygn	September mm	Antal dygn
Hasslarp* 1998	64	13	25	12	164	19	134	25	42	63	69	10
Hasslarp* normalt	36	11	46	11	66	13	72	11	63	13	77	15
Staffanstorps** 1998	55	11	36	9	61	14	73	18	68	21	92	15
Staffanstorps** normalt	31	8	41	9	58	10	58	10	62	10	75	13

Medeltemperatur

Observationsplats	April C-grader	Maj C-grader	Juni C-grader	Juli C-grader	Augusti C-grader	September C-grader
Hasslarp* 1998	6,9	12,4	14,1	14,7	14,8	13,5
Hasslarp* normalt	6,2	11,5	14,9	16,8	16,7	12,6
Staffanstorps** 1998	6,8	12,2	14,2	14,8	15,0	13,6
Staffanstorps** normalt	5,7	10,9	14,4	16,4	16,5	12,4

* Väderstationen i Hasslarp motsvarar väderdata för Planagården.

** Väderstationen i Staffanstorps motsvarar väderdata för Ädelholm, Emmylund och Trulstorp.

Källa: Danisco Sugar AB

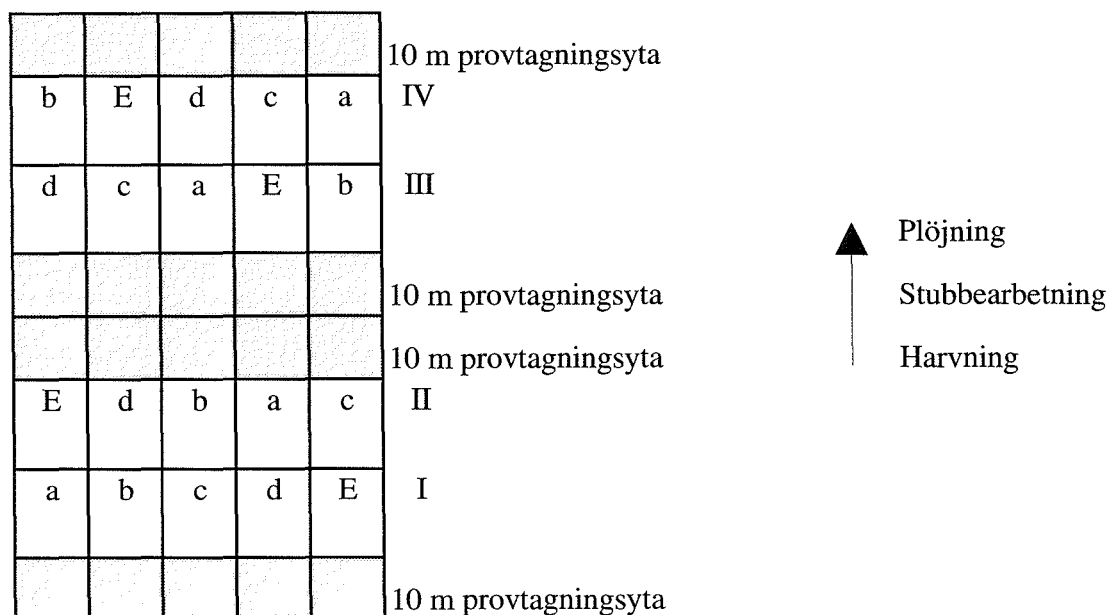
Strukturkalkning till sockerbetor

Syfte Att undersöka olika kalkningsmedels effekt på jordstruktur och sockerbetsskörd på jordar utan kemiskt kalkningsbehov

Försöksplan

	<u>syranneutraliserande verkan CaO</u>	<u>ton/ha</u>
a obehandlat	-	-
b släckt kalk	69,5	3
c kalkstensmjöl	49,1	4
d sockerbrukskalk	27,8	8
E släckt kalk	69,5	9

Fältplan



Storlek

Parcell: bredd 9-12 rader, längd 15 m

Försök: bredd 21,6-28,8 m, längd 100 m

Sådd

Försöksvärd eller JT

Gödsling

Som försöksfältet

Skörd

1 skörderuta per parcell

Mosprov (150 gr) vid skörd

led a, c och d enl BLq

Planträkning

1. Vid 30 % uppkomst i bästa led

2. Efter avslutad radrensning

Bedömning av betutveckling (JB)

1. vid 50 % radtäckning

2. vid 70-80 % radtäckning

Provtagningsyta

10 m för examensarbete 1998

Fastläggning

Försöket fastlägges för skörd 1999 och 2000

Jordprov

Före utläggning - lerhalt och jordart,

- pH och kalkbehovsbestämning,

- blockvis 0-25 cm enl BLq

Före sådd - parcellvis 0-25 cm led a, c och d enl BLq,

- parcellvis vattenhalt 0-10 och 10-20 cm (exarbetare)

Vid skörd - parcellvis 0-25 cm led a, c och d enl BLq

Jordarter

2 lättleror och 2 mellanleror utan kalkbehov

Jordbearbetning

Kalken stubbearbetas ned efter spridning

Direkt efter sådd (examensarbetare)

Aggregatfördelning till bearbetningsbotten

Vattenhalt i såbädd

Vattenhalt i bearbetningsbotten

Penetrationsmotstånd

Provtagning för aggregatanalys + pH-bestämning

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1996

- 96:1 Eckersten, H., Jansson, P-E., & Johnsson, H. SOILN model, user's manual. Version 9.1. 93 s.
- 96:2 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K. & Andersson, J. En introduktion till biogeofysik, 2:a upplagan. 110 s.
- 96:3 Carlsson, H., Larsson, K. & Linnér, H. Växtnäringsstyrning i potatis. 69 s.
- 97:1 Uppenberg, S., Wallgren, O. & Åhman, M. Saturated hydraulic conductivity in an acid sulphate soil. A minor field study in the the Vietnamese Mekong delta. 45 s.
- 97:2 Djodjic, F. Avrinningsmönster i ett litet åkerområde under 40 år av successiv urbanisering. 38 s.
- 97:3 Vukovic, M. The effect of soil hydraulic properties on ground water fluctuations in a heavy clay soil. Measurements and simulations. 43 s.
- 97:4 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K., Carlsson, M., Lewan, L. & Blombäck, K. En introduktion till biogeofysik, 3:e upplagan. 130 s.
- 97:5 Eckersten, H. Simulation of water flow in plant communities. SPAC model description, exercises and user's manual. 2nd edition. SPAC version 5.0. 52 s.
- 98:1 Lustig, T. Land Evaluation Methodology. Small-Scale Agro-Pastoralist Farming Systems. Agricultural community case study in the IV region of Chile. 91 s.
- 98:2 Jansson, P-E. Simulating model for soil water and heat conditions. Description of the SOIL model. 81 s.
- 98:3 Casanova, M. Influence of slope gradient and aspect on soil hydraulic conductivity measured with tension infiltrometer. Field study in the Central Zone of Chile. 50 s.
- 98:4 Ingvar-Nilsson, N. Variationsmönster hos grundvattennivåerna i skogsmark. Fältstudier i Norunda hösten 1995. 52 s.
- 98:5 Carlsson, M. Sources of errors in Time Domain Reflectometry measurements of soil moisture. 50 s.
- 98:6 Eckersten, H., Jansson, P-E., & Johnsson, H. SOILN model, User's manual. Version 9.2. 113 s.
- 98:7 Quang, v. P. Soil water flow dynamics on raised beds in an acid sulphate soil. Field study at Hoa An station, Mekong delta, Vietnam. 33 s.
- 98:8 Tri, V.K. Water flow paths during the rainy season in an acid sulphate soil. Field study in the plain of reeds of the Mekong delta, Vietnam. 40 s.
- 98:9 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K., Blombäck, K., Karlberg, L. & Persson, G. Biogeofysik - en introduktion. 146 s.
- 99:1 Kindvall, T. Strukturförändring på lerjordar - effekter på markstruktur och sockerbetsskörd. 55 s.

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

Distribution:

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
Box 7014
750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 11 85, 67 11 86

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics
P.O. Box 7014
S-750 07 UPPSALA, SWEDEN

Tel. +46-(18) 67 11 85, +46-(18) 67 11 86
